



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

Faculdade de Engenharia Mecânica

**Edgar Phelipe de Matos Santos**

# **Projeto e Construção de Simulador de Capotamento para Testes em Cadeirinhas do Grupo II e Grupo III**

CAMPINAS  
2020

Edgar Phelipe de Matos Santos

# **Projeto e Construção de Simulador de Capotamento para Testes em Cadeirinhas do Grupo II e Grupo III**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Celso Fonseca de Arruda

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO Edgar Phelipe de Matos Santos, E ORIENTADO PELO PROF. DR. Antonio Celso Fonseca de Arruda.

CAMPINAS  
2020

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

Santos, Edgar Phelipe de Matos, 1988-  
Sa59p Projeto e construção de simulador de capotamento para testes em cadeirinhas do grupo II e grupo III / Edgar Phelipe de Matos Santos. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Antonio Celso Fonseca de Arruda.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Retenção. 2. Projeto construção. 3. Acidentes de trânsito. 4. Simulador. 5. Acidentes infantis. I. Arruda, Antonio Celso Fonseca de, 1948-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Design and construction of dynamic rollover simulator in car seats to group II and group III

**Palavras-chave em inglês:**

Retention

Design and construction

Traffic-accidents

Simulator

Children's accidents

**Área de concentração:** Materiais e Processos de Fabricação

**Titulação:** Mestre em Engenharia Mecânica

**Banca examinadora:**

Antonio Celso Fonseca de Arruda [Orientador]

Alexandre Fonseca Jorge

Marcos Antonio Porta Saramago

**Data de defesa:** 31-01-2020

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Mecânica

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-1875-9037>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/0154047625103341>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO**

# **Projeto e Construção de Simulador de Capotamento para Testes em Cadeirinhas do Grupo II e Grupo III**

Autor: Edgar Phelipe de Matos Santos

Orientador :Antonio Celso Fonseca de Arruda

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta  
Dissertação:

---

**Prof. Dr. Antonio Celso Fonseca de Arruda, Presidente**  
**DEMA/FEM/UNICAMP**

---

**Prof. Dr. Alexandre Fonseca Jorge**  
**IFSP/BRAGANÇA PAULISTA**

---

**Prof. Dr. Marcos Antonio Porta Saramago**  
**DPM/FEM/UNICAMP**

A Ata de defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontram-se no  
SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da  
Unidade.

Campinas, 31 de Janeiro de 2020.

## **Dedicatória**

A minha amada mãe Conceição Gama de Matos, ao meu pai Elmo Souza do Santos. O amor de vocês me fizeram ter asas e pude voar para longe. Amo vocês.

## **Agradecimentos**

A Deus, minha fonte de força, fé e determinação. E como em todos os dias, agradeço pelo dom da vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Celso Fonseca de Arruda, pelo apoio, orientações estabelecidas e pela grande parceria durante estes anos.

Aos membros das bancas de qualificação, Prof. Dr. Marcos Saramago e Prof.Dr. Alexandre Fonseca.

A minha mãe, meu pai e meu irmão. Amo vocês imensamente.

A minha amada Samila Ferreira, que nessa reta final foi um grande porto seguro.

Aos amigos de jornada Alan, César, Victor, Marcus, Vinícius, Henrique e Raimundo.

À ACTA VISIO por ter me dado suporte em minhas pesquisas.

*Sonhos, desejamos alcançar  
Ser alguém com o poder maior, que você  
já tem.*

---

Keiju Ishikawa / Yukinojo Mori

## Resumo

SANTOS, Edgar Phelipe Matos. Projeto e Construção de Simulador de Capotamento para Testes em Cadeirinhas do Grupo II e Grupo III. 2019. 81p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

A norma NBR 14400 – Veículos Rodoviários Automotores – Dispositivos de Retenção para Crianças – Requisitos de Segurança, estabelece os requisitos de segurança para projetar, construir e instalar o dispositivo de retenção para crianças, com o objetivo de reduzir os riscos de lesões corporais em caso de colisão do veículo. Entre seus requisitos está o ensaio de capotamento, o qual deve submeter o dispositivo de retenção a um giro de 360° com velocidades entre 2°/s e 5°/s. Trazendo para o mundo real, esses valores de ensaios são muito suaves, o que não condiz com a realidade.

Neste cenário, buscou-se projetar e construir um simulador de capotamento mais robusto, que simule uma condição próxima do real, permitindo avaliar o desempenho do dispositivo de retenção quando testado em condições mais severas.

O diferencial do projeto em relação a outros equipamentos de ensaios está em possuir um sistema pneumático cilindro-pistão que realiza um deslocamento da estrutura, resultando em um giro de 360° do simulador em um tempo reduzido atingindo velocidades médias de até 170°/s.

Foi utilizado um dispositivo de retenção modelo *booster*, que atende a dois grupos de crianças segundo manual do fabricante, grupo II (15kg a 25kg) – assento de elevação com encosto de proteção de cabeça, e grupo III (22kg a 36kg) – assento de elevação sem proteção de cabeça. O boneco de testes possui massa de 22kg e suas medidas antropométricas simulam uma criança entre 5 a 6 anos de idade, o que permite a utilização tanto do *booster* do grupo II quanto do grupo III.

Os dados foram coletados por meio do programa computacional *kinovea*, adequado para análise de biomecânica, que permitiu estimar o deslocamento e a velocidade do manequim com grande precisão.

*Palavras-chave:* Simulador de capotamento, dispositivo de Retenção, segurança, capotamento.



## **Abstract**

SANTOS, Edgar Phelipe Matos. Design and Construction of Dynamic Rollover Simulator in Car Seats to Group II and Group III. 2019. 81p. Dissertation (Master Degree). School of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Campinas.

NBR 14400 - Motor Vehicle Roads - Child Restraint Devices - Safety Requirements establishes safety requirements for the design, construction and installation of the child restraint device to reduce the risk of personal injury in the event of a collision of the vehicle. Among its requirements is the rollover test, to which it must subject the restraint device to a 360 ° turn at speeds of 2°/s to 5°/s. Bringing to the real world, these test values are very soft, which doesn't match the reality.

In this scenario, we sought to design and build a more robust rollover simulator that simulates a more real condition, allowing to evaluate the performance of the retention device when tested under more severe conditions.

The differential of the design over other test equipment is that it has a pneumatic cylinder-piston system that performs a displacement of the structure, resulting in a faster 360 ° rotation of the simulator reaching speeds up to 170 ° / s.

A booster restraint was used, which serves two groups of children according to the manufacturer's manual, group II (15kg to 25kg) - lifting seat with headrest, and group III (22kg to 36kg) - safety seat. lifting without head protection. The test doll has a mass of 22kg and its anthropometric measurements simulate a child between 5 and 6 years old, which allows the use of both group II and group III booster.

The data were collected from a kinovea computer program suitable for biomechanics analysis, allowing to estimate the displacement and velocity of the dummy with great precision.

*Keywords:* Rollover simulator, restraint device, safety, rollover.

## Lista de Ilustrações

2.1	Logomarca da Década de Ação pela Segurança no Trânsito. (WHO, 2018). . .	20
2.2	Número e taxa de mortes no trânsito por 100.000 pessoas. (WHO, 2018). .....	21
2.3	Definição de Quadro de referência do Quadricóptero (DATASUS, 2017). .....	22
2.4	Relatório Global sobre o estado de Segurança Viária. Fonte: OMS (2015). .....	23
2.5	Crashworthiness – Proteção à Colisão. Fonte: INTERNET, 2018. ....	26
2.6	Representação do deslocamento dos ocupantes após colisão. (CRIANÇA SE- GURA, 2013). .....	26
2.7	Classificação de tipos de capotamento. (NASS, 2008). .....	27
2.8	Capotamento com crianças no veículo. (PRF, 2018). .....	28
2.9	Capotamento com crianças no veículo. (PRF, 2018). .....	29
2.10	Dados de capotamento com idade das crianças no veículo. (PRF, 2018). .....	29
2.11	Grupo 0: para crianças de até 10 kg, altura aproximada 0,80 m, até 9 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018. ....	32
2.12	Grupo 0+: para crianças de até 13 kg, altura aproximada 0,72 m, até 12 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018. ....	33
2.13	Grupo 1: crianças de 9 kg a 18 kg, altura aproximada 1,00 m, até 32 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018. ....	33
2.14	Grupo 2: crianças de 15 kg a 25 kg, altura aproximada 1,15 m, até 60 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018. ....	34
2.15	Grupo 3: crianças de 22 kg a 36 kg, altura aproximada 1,30 m, até 90 meses de idade. (CRIANÇA SEGURA, 2018). ....	34
2.16	Acima de 36 Kg e no mínimo 1,45m de altura (aproximadamente 10 anos de idade), (CRIANÇA SEGURA, 2018). ....	35
3.1	Dispositivo de simulação de capotamento, (HAINOSKI, 2011). ....	37
3.2	(a) Motorreductor utilizado, (WEG, 2005) (b) Inversor de frequência, (WEG, 2015). ....	38
3.3	Modelo idealizado do berço feito em CAD e em processo de fabricação. ....	39
3.4	Estimativa do centro de massa do veículo – frontal. ....	39
3.5	Estimativa do centro de massa do veículo – lateral. ....	40
3.6	Centro de massa dos aros. ....	40
3.7	Centro de massa do retângulo da estrutura. ....	41
3.8	Alinhamento do centro de massa veículo com o berço – frontal. ....	41
3.9	Alinhamento do centro de massa veículo e berço – lateral. ....	42

3.10	Estrutura externa do simulador de capotamento com roldanas.....	42
3.11	Simulador de capotamento em CAD e projeto final. ....	43
3.12	Reservatório do sistema de acionamento via pistão, (SACCONI, 2012). ....	43
3.13	Sistema Pneumático instalado. ....	44
3.14	Estrutura para pistão com rolamento e amortecedor.....	45
3.15	Momento de inércia considerando um cilindro maciço. ....	45
3.16	Estimativa do atrito em cada roldana no momento de giro. ....	46
3.17	Assento de elevação para Grupo II. (Fonte: Internet, 2018). ....	47
3.18	Assento de elevação para Grupo III. (Fonte: Internet, 2018). ....	47
3.19	Boneco de testes ( <i>dummie</i> ) que simula uma criança segundo, (ECE, 2009). ....	48
3.20	Fixação do cinto de três pontos.....	49
3.21	Adesivos sensoriais e linha de referência como marco zero. ....	50
4.1	Sistema pneumático Cilindro-Pistão do simulador de capotamento.(Fonte: Autor). ....	51
4.2	Teste 1: Trajetória da cabeça com a trajetória esperada. ....	52
4.3	Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	52
4.4	Teste 2: Trajetória da cabeça com a trajetória esperada. ....	53
4.5	Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	53
4.6	Teste 3: Trajetória da cabeça com a trajetória esperada. ....	54
4.7	Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	54
4.8	Trajetória estimada (linha tracejada branca), trajetória realizada (linha contínua azul) e trajetória realizada pelo simulador (linha contínua verde). ....	55
4.9	. Posição do DRC no momento do impacto com a coluna do simulador.....	56
4.10	Teste 1: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada. ....	56
4.11	Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	57
4.12	Teste 2: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada. ....	57
4.13	Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	57
4.14	Teste 3: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada. ....	58
4.15	Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	58
4.16	Deslocamento lateral da cabeça do boneco.....	59
4.17	Momento de colisão da cabeça do boneco com a coluna do veículo. ....	60
4.18	Deslocamento realizado pela cabeça do boneco (azul) em relação a trajetória segura estimada (branca).....	60
4.19	Motor elétrico com motoredutor do dispositivo de capotamento. ....	61
4.20	Teste 1: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). ....	61
4.21	Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	62
4.22	Teste 2: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). ....	62
4.23	Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	62

4.24	Teste 3: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). .	63
4.25	Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	63
4.26	Simulador de capotamento no momento de ponta cabeça. ....	64
4.27	Teste 1: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). ....	65
4.28	Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	65
4.29	Teste 2: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). ....	66
4.30	Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	66
4.31	Teste 3: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca). ....	67
4.32	Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada. ....	67
4.33	Deslocamento lateral da cabeça do boneco. ....	68
4.34	Acelerações da cabeça e do simulador no momento da colisão. ....	69
4.35	Influência do cinto de segurança no sentido do giro. ....	70

## Lista de Tabelas

2.1	Elementos que contribuem para a segurança veicular ativa e passiva, (COTTI, 2010). . . . .	24
4.1	Dados do <i>Kinovea</i> , DRC do Grupo II. . . . .	55
4.2	Dados do <i>Kinovea</i> , DRC do Grupo III. . . . .	59
4.3	Dados do <i>Kinovea</i> , DRC do Grupo II. . . . .	64
4.4	Dados do <i>Kinovea</i> , DRC do Grupo II. . . . .	68

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**DRC** - Dispositivo de Retenção de Criança.

**DR** - Dispositivo de Retenção.

**ECE** - *Economic Commission for Europe*.

**NASS** - *National Automotive Sampling*.

**NBR** - Norma Brasileira de Regulamentação.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>17</b>
1.1	Motivação .....	17
1.2	Objetivo .....	18
1.2.1	Objetivos Específicos .....	18
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>20</b>
2.1	Características do trânsito no Brasil e no Mundo .....	20
2.2	Segurança Veicular .....	22
2.3	Dinâmica de colisão veicular .....	24
2.4	Capotamento .....	27
2.5	A Importância do Uso da Cadeirinha .....	30
2.6	Dispositivos de Retenção para Crianças – DRC .....	30
2.7	Regulamentação para ensaio NBR14400 .....	35
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>37</b>
3.1	Dispositivo de Capotamento que Operará nos Parâmetros Normativos .....	37
3.2	Construção do Simulador .....	38
3.3	Dispositivos de Retenção Analisados .....	46
3.4	Boneco de Testes .....	47
3.5	Sistema de Aquisição de Dados .....	48
3.6	Procedimentos Experimentais .....	48
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>51</b>
4.1	Resultados dos Testes de Capotamento .....	51
4.2	Simulador de Capotamento .....	51
	Teste do DRC Grupo II .....	52
	Teste do DRC Grupo III .....	56
4.3	Dispositivo de Capotamento .....	60
	Teste do DRC Grupo II .....	61
	Teste com DRC Grupo III .....	65
4.4	Análise Pós-Teste – Discussões dos Resultados .....	68
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>72</b>

<b>Referências</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>77</b>
<b>A– Arquivos de Especificação dos Materiais Utilizados</b>	<b>77</b>
A.1 Especificações do motor de indução.....	77
A.2 Inversor de Frequência.....	79
<b>APÊNDICES</b>	<b>80</b>
<b>A– Desenhos da Estrutura</b>	<b>80</b>



# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Em 2010, a Organização das Nações Unidas (ONU) editou uma resolução definindo o período de 2011 a 2020 como a “Década de ações para a segurança no trânsito”. O documento foi baseado em estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS), que em 2009, contabilizou 1,3 milhão de mortos por acidentes de trânsito em 178 países e 50 milhões de sobreviventes com algum tipo de sequela. Todos os anos no Brasil, cerca de 3,6 mil crianças entre 1 e 14 anos morrem e outras 111 mil são hospitalizadas devido a essas causas (TAVARES, 2015).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), órgão responsável pela normalização técnica nacional, publicou em 2009 a segunda edição da Norma NBR 14400 – Veículos Rodoviários Automotores – Dispositivos de retenção para crianças – Requisitos de Segurança. O documento estabelece os requisitos de segurança para projeto, construção e instalação de Dispositivos de Retenção para Crianças (DRC) em veículos rodoviários, com o objetivo de reduzir os riscos de lesões corporais em caso de colisão.

Para que os dispositivos de retenção para crianças possam ser comercializados é necessário que possuam o selo de certificação que garanta que aqueles DRC's passaram por testes e ensaios. Entre os ensaios que a norma NBR 14400 solicita está o ensaio de capotamento. A norma oferece parâmetros de ensaios dos quais os DRC's devem ser submetidos. Entre esses parâmetros está o de giro de 360° que o DRC deve realizar, a uma velocidade de (2°/s a 5°/s). Essa velocidade é muito baixa para fazer um veículo capotar em uma condição real, dando a entender que os DRC's são submetidos a ensaios com parâmetros brandos.

Baseado na problemática descrita acima, o presente trabalho tem como objetivo projetar e construir um simulador de capotamento que opere em condições mais reais, possibilitando que os DRC's sejam submetidos a ensaios mais rígidos. O diferencial do projeto está no sistema pneumático que realiza um impacto lateral, permitindo que o simulador gire 360° em um tempo menor atingindo velocidades maiores, em comparação ao dispositivo de capotamento que opera seguindo os parâmetros normativos.

Para mais, foi utilizado o DRC Assento de Elevação (*booster*) que segundo manual do fabricante, atende a dois grupos de crianças especificados na norma NBR 14400, ao Grupo II, crianças de 15kg a 25kg (assento de elevação com o encosto de proteção de cabeça) e ao Grupo

III, crianças de 22kg a 36kg (assento de elevação sem o encosto de proteção de cabeça). Um boneco de testes foi utilizado, com peso de 22kg e altura de 1,15m, suas medidas antropométricas simulam uma criança entre 5 a 6 anos de idade, permitindo que utilizasse nos ensaios tanto o DRC Grupo II quanto Grupo III. Logo, foi feita uma avaliação comparativa entre o simulador de capotamento e o dispositivo de capotamento, analisando o comportamento do boneco de testes que utiliza em ambos os ensaios tanto o DRC com proteção de cabeça quanto o DRC sem proteção de cabeça.

Destaca-se que este trabalho é um complemento de estudos realizados pela equipe de pesquisa Criança Segurança, composta por alunos de mestrado e doutorado da UNICAMP, com foco de pesquisa em segurança veicular no transporte de crianças. A equipe possui um dispositivo de capotamento, localizado no laboratório de biomecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM – UNICAMP). O dispositivo é um equipamento normatizado, que opera seguindo as diretrizes da NBR14400, realizando ensaios de capotamento em dispositivos de retenção para criança.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho consiste em projetar e construir um simulador de capotamento, que simule uma condição mais realista e comparar o comportamento do dispositivo de retenção para criança (*booster*) quando testado no simulador de capotamento e no dispositivo de capotamento que opere nas diretrizes da norma.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Desenvolver um projeto nacional de simulador dinâmico para testes de capotamento de um giro;
- Permitir a visualização do comportamento do DRC e do boneco de testes ;
- Possuir acionamento pneumático, que permita o deslocamento angular do veículo até completar um giro de 360°;
- Simular ensaios de natureza não destrutivos;
- Comparar a velocidade do simulador com a velocidade de um equipamento normatizado;

- Testar o *booster* e o boneco de testes tanto no equipamento normatizado quando no equipamento não normatizado;
- Conscientizar sobre a importância do uso de dispositivos de retenção para crianças nos veículos.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Características do trânsito no Brasil e no Mundo

Em 2011, a Assembleia Geral das Nações Unidas definiu através da resolução A/RES/64/255 que entre 2011 e 2020 ocorreria a “Década de Ação pela Segurança no Trânsito” Figura 2.1. O documento baseia-se em um estudo realizado em 2009, que contabilizou 1,35 milhão de mortes por acidentes de trânsito e cerca de 50 milhões sobreviveram com algum tipo de seqüela (DISCUSSÃO, 2012).



Figura 2.1: Logomarca da Década de Ação pela Segurança no Trânsito. (WHO, 2018).

Segundo o diretor geral do World Health Organization - (WHO, 2018), Dr. Tedros Adhanom Ghebreyesus, os números de acidentes de trânsito são impressionantes, representando a oitava principal causa de morte no mundo Figura 2.2 . Apesar do aumento nos números, a taxa de mortes por trânsito permaneceu relativamente constante em cerca de 18 mortes por 100.000 habitantes nos últimos 15 anos e o fato é que todas essas mortes e ferimentos são evitáveis. Estima-se que cerca de três mil vidas são perdidas por dia, sendo este o maior responsável pelas mortes na faixa etária de 5 a 29 anos.

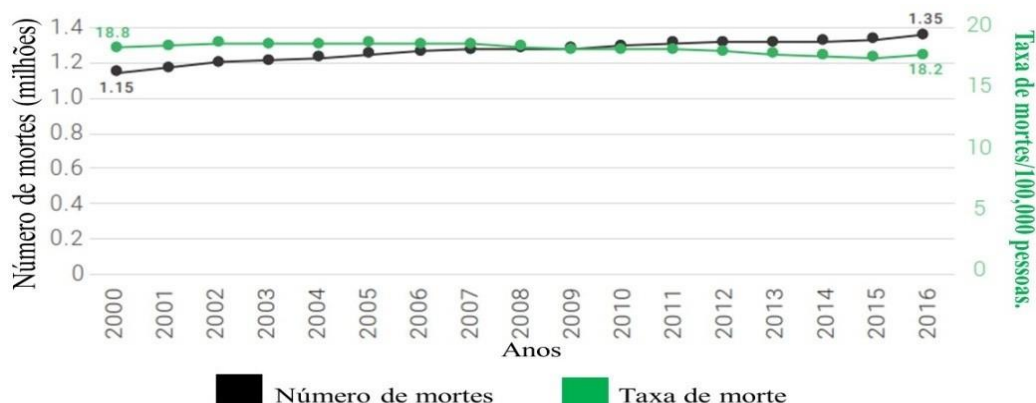


Figura 2.2: Número e taxa de mortes no trânsito por 100.000 pessoas. (WHO, 2018).

A estimativa é que 90 das mortes em acidentes de trânsito acontecem em países em desenvolvimento, entre os quais se inclui o Brasil e esse grupo de países de baixa renda possui menos da metade dos veículos do planeta (48%). Segundo dados coletados o Brasil se encontra em quinto lugar dos países recordistas, precedido por Índia, China, EUA e Rússia e seguido por Irã, México, Indonésia, África do Sul e Egito, e ao todo essas dez nações são responsáveis por 62% das mortes por acidente no trânsito (WHO, 2018).

De acordo com o governo brasileiro, cerca de R\$ 80 milhões são gastos na rede do SUS – Sistema Único de Saúde devido a acidentes de trânsito (VIEIRA ET AL., 2009).

“Estimativas mostram que a cada morte outras quatro crianças ficam com sequelas permanentes que irão gerar, provavelmente, consequências emocionais, sociais e financeiras a essa família e à sociedade.” (VARELA ET AL., 2009)

Apesar de crianças não conduzirem veículos automotores elas são transportadas tanto quanto os condutores diariamente devido as atividades do cotidiano, seu risco de sofrerem lesões que podem até levar a óbito, são muito altas pois mesmo uma frenagem abrupta pode levar a uma lesão se esta não estiver segura por meios de dispositivos adequados para seu peso e idade (SOUZA, 2015).

Segundo o Sistema de Informações de Mortalidade (SIM, 2018) do Ministério da Saúde, em 2016 foram registrados 37.345 mortes de trânsito considerando todas as cidades brasileiras, representando uma diminuição de 14,8% em relação a 2014 que apresentou 43.780 óbitos Figura 2.3 .

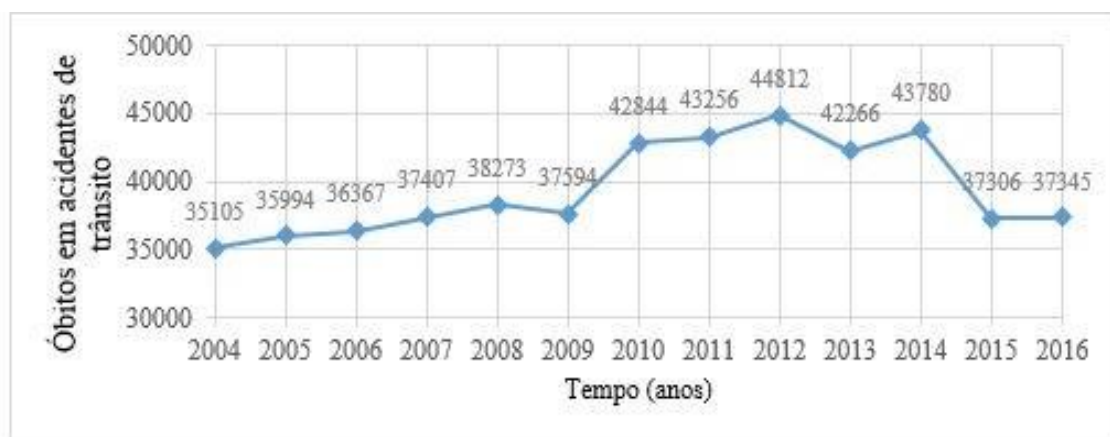


Figura 2.3: Definição de Quadro de referência do Quadricóptero (DATASUS, 2017).

Nos centros cirúrgicos brasileiros, 50% da ocupação são por vítimas de acidentes rodoviários e 60% dos leitos hospitalares do Sistema Único de Saúde (SUS) são ocupados por vítimas de acidentes de trânsito. Segundo o Observatório de Segurança Viária, os acidentes no trânsito resultam em custos anuais de R\$ 52 bilhões e a meta do país em 2020 é não ultrapassar 19 mil vítimas fatais ano. (PORTAL DO TRÂNSITO, 2018).

## 2.2 Segurança Veicular

Segundo a Organização Mundial de Saúde - OMS, o condutor não deve consumir bebidas alcoólicas, falar ao celular, deve utilizar os dispositivos de segurança como cinto, cadeirinha para crianças e dirigir nos limites de velocidade permitida; pois esses são os principais fatores para a segurança viária, todos bastante conhecidos e desobedecidos também em todo mundo. A violência no trânsito tem se tornado uma epidemia que não figurava entre as principais causas de óbitos em 2010, mas assumiu a 10ª posição em 2015 Figura 2.4, e a previsão é que chegue ao 7º lugar em 2030 caso as devidas mudanças não sejam implementadas (AMBEV, 2017).



Figura 2.4: Relatório Global sobre o estado de Segurança Viária. Fonte: OMS (2015).

O desempenho do Dispositivo de Retenção (DR) está diretamente ligado a sua utilização de forma correta pelos ocupantes, visto que o DR deve estar devidamente ajustado a cada tipo de ocupante, desde criança até o adulto, para que a desaceleração inicial que o ocupante sofre seja a menor possível, os principais componentes do sistema de retenção no veículo são os cintos de segurança e suas ancoragens, bancos, painel de instrumentos, encosto de cabeça, cadeirinhas, volantes, e *air bag*. Manter o controle da taxa de desaceleração do passageiro reduz as forças que atuam na superfície do corpo, como também reduzem as forças de colisões internas entre a estrutura óssea e os órgãos internos. A segurança veicular e seus dispositivos estão divididos em três tipos SOUZA (2015):

- Segurança veicular ativa - São equipamentos que atuam na contenção do acidente na sua iminência. Age funcionalmente com o objetivo de impedir ou diminuir as chances de que um acidente ocorra (Quadro 2.1);
- Segurança veicular passiva - São equipamentos que atuam no momento ou parada repentina, para evitar ou minimizar as lesões provocadas nos ocupantes do veículo, com o objetivo de preservar a segurança dos ocupantes (Quadro 2.1);
- Segurança veicular de ação pós-colisão - São aqueles que são empregados após a colisão.

Segurança	Ativa	Passiva
Veículo	Faróis, lanternas e setas; Freios; Amortecedores e molas; Espelho retrovisor; Buzina; Limpadores de para-brisas; Quebra-sol; <i>Brack - light</i> ; Sinais sonoros e luminosos; outros.	Cinto de segurança; Encosto de cabeça; <i>Airbags</i> ; Coluna de direção retrátil; Barras de proteção nas portas; Carrocerias; Para-brisas laminados; Para-choques envolventes; outros.
Via	Sinalização de solo para neblina; Acostamento bem conservados; Pavimentação bem conservada com drenagem adequada; Curvas com inclinação adequada.	<i>Guard - rails</i> ; Defensas laterais de pontes e curvas que impedem a queda do veículo.

Tabela 2.1: Elementos que contribuem para a segurança veicular ativa e passiva, (COTTI, 2010).

### 2.3 Dinâmica de colisão veicular

A colisão é a primeira coisa que acontece quando um veículo atinge um obstáculo, seja ele estático ou móvel, podendo este dividir-se em frontais (central, excêntricas e angulares), investidas (perpendiculares e oblíquas), colisões reflexas, colisões por alcance, colisões laterais por raspagem, despiste (saídas das vias por causas alheias à vontade do condutor) (ISO 6813, 1981).

Conhecer as leis de Newton assim como o conceito de trabalho e energia permite entender o funcionamento dos dispositivos de retenção e os fenômenos físicos que acontecem em uma colisão veicular (MADUREIRA, 2000).

(TIVELLI ET AL., 2012) descreve o que ocorre durante uma colisão utilizando as leis de Newton:



*"A primeira lei estabelece que um corpo em repouso permaneça em repouso, e um corpo em movimento permaneça em movimento, a não ser que sofram a ação de uma força externa, sejam estas forças que operam à distância (gravidade, magnetismo, entre outras) ou forças que atuam diretamente sobre a superfície do corpo. A segunda lei de Newton diz que se uma força (F) é aplicada por período de tempo (dt) a variação de velocidade (dv) será dada por:  $dv = (F \cdot dt) / m$ , onde "m" é a massa do corpo em questão"*

Massa e aceleração são diretamente proporcionais à força. Trazendo este comportamento em uma situação de colisão veicular, verifica-se que a força resultante de impacto, não só é diretamente proporcional ao aumento ou diminuição da massa, mas também diretamente proporcional a sua aceleração, onde " $\alpha$ " é a aceleração do corpo.

$$F = m * \alpha \quad (2.1)$$

A terceira lei de Newton estabelece que para toda ação há uma reação podendo definir energia como a capacidade de realizar trabalho e vencer resistências. Trabalho pode ser definido como a transferência de energia de um corpo para o outro.

A energia cinética (referente ao movimento de um corpo) segundo (TIVELLI ET AL., 2012) é mais relevante no estudo das colisões veiculares do que a energia potencial. Analisando somente a energia cinética envolvida na colisão, temos da física clássica que:

$$F = (m * v^2) / 2 \quad (2.2)$$

, onde " $v$ " é a velocidade do corpo.

Para demonstrar a importância da velocidade na colisão veicular, um veículo a 60 km/h possui cerca de 44% a mais de energia cinética do que um veículo de mesma massa a 50 km/h, para uma criança de 14 kg, uma colisão a 50 km/h equivale a ser jogada do 2º andar de um prédio (DETRANPR, 2018).

Quando um veículo se envolve em um acidente é desencadeada uma série de colisões das quais são: do veículo, do ocupante e a colisão dos órgãos internos dos ocupantes. A primeira colisão ocorre entre o veículo e o obstáculo, este momento é a primeira linha de defesa onde o veículo se deforma com o intuito de distribuir e dissipar as cargas resultantes, tendo como principal objetivo proteger os ocupantes do veículo em uma colisão, essa capacidade é denominada de *crashworthiness*, que significa: proteção à colisão Figura 2.5 (IKEDA, 2012).



Figura 2.5: Crashworthiness – Proteção à Colisão. Fonte: INTERNET,2018.

Em seguida, caso os ocupantes não estejam utilizando os equipamentos de retenção, eles serão projetados em direção ao para-brisa, painel, volante e pedais, assim sofrendo uma segunda colisão, sendo esta igual à carga de energia resultante não-absorvida e dissipada pela estrutura do veículo ou até uma carga maior. Consequentemente a essas colisões pode ocorrer a terceira colisão que consiste no trauma dos órgãos internos causando graves sequelas Figura 2.6 (TAVARES, 2015).

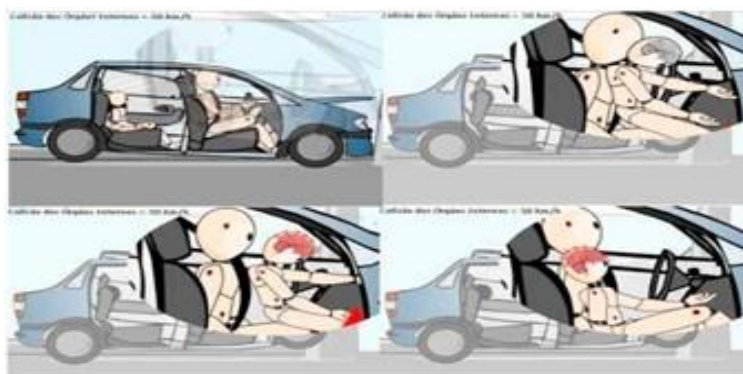


Figura 2.6: Representação do deslocamento dos ocupantes após colisão. (CRIANÇA SEGURA, 2013).

Em grande parte dessas colisões há crianças sendo transportadas nesses veículos, nos últimos cinco anos (2013 – 2017) houve um total de 66.380 hospitalizações infantis (0 – 14 anos), (DATASUS, 2017).

## 2.4 Capotamento

Capotamento é um tipo de acidente em que o veículo gira em uma de suas laterais resultando com que o seu teto toque o chão (PRF, 2018).

(VALDÉS ET AL., 2016) define capotagem como a rolagem do veículo em um ângulo superior a  $90^\circ$  em relação ao seu eixo longitudinal, ocasionando o impacto com o solo. Os capotamentos são acidentes complexos, considerando seus aspectos cinemáticos e dinâmicos, as causas são difíceis de prever pois diversas variáveis como o tipo de veículo, localização do centro de gravidade, ângulos de rolagem, arfagem e guinada, têm uma grande influência.

Em seu trabalho (PARENTEAU, 2004) salienta que o capotamento é uma condição de impacto onde o ocupante é solicitado pelas forças provenientes ao impacto do veículo, como também as forças inerciais e centrípetas que agem de forma a expulsar o ocupante de dentro do veículo, expondo o ocupante sem cinto de segurança a grande risco.

Segundo o Sistema Nacional de Amostragem Automotiva - *National Automotive Sampling System* (NASS, 2008) existem oito classificações para iniciação de tipos de capotamento Figura 2.7.



Figura 2.7: Classificação de tipos de capotamento. (NASS, 2008).

Para (HAINOSKI, 2011), existem três fases do capotamento:

- Na primeira fase do capotamento o veículo encontra a resistência em manter seu movimento, iniciando a aceleração lateral e movimento de rotação, nesta fase o ocupante tende a manter a direção do movimento inicial do veículo por inércia;

- Na segunda fase do evento de capotamento, o veículo não produz mais resistência ao evento e está em movimento de rotação. Dependendo do tipo do capotamento o veículo encontrasse em voo livre sem contato ao solo; neste momento o ocupante tende a mover-se para cima e para fora do veículo, se o ocupante utiliza o cinto de segurança, este movimento é contido;

- A terceira fase é quando o veículo encontra o solo, e dependendo do tipo de evento e quantidade de energia, o momento torna-se crítico para a estrutura do veículo e para a integridade do ocupante.

Existem algumas formas de tentar evitar um capotamento como trafegar em velocidade compatível com a via, não ingerir álcool ou drogas, obedecer a sinalização da via, não fazer uso de aparelhos celulares enquanto dirige e utilizar pneus em boas condições são algumas formas de evitar um capotamento.

Segundo estimativa da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2018) entre janeiro de 2013 a abril de 2018 ocorreram um total de 35.926 capotamentos nas rodovias federais do Brasil. Neste período de tempo a maior notificação ocorreu em 2013 sofrendo um decréscimo no decorrer dos anos Figura 2.8.

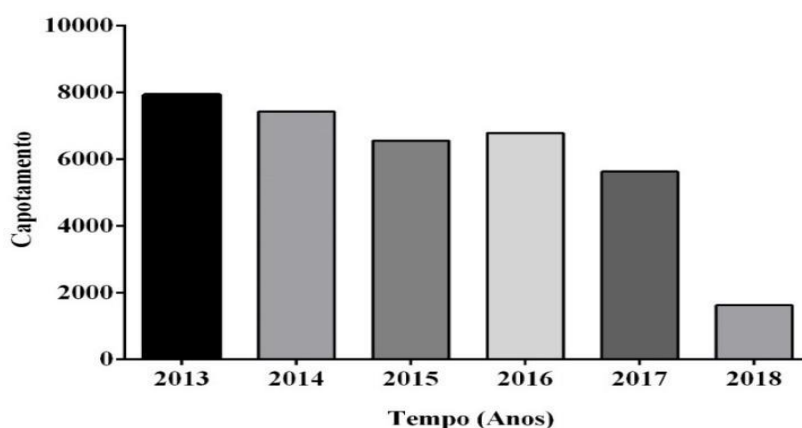


Figura 2.8: Capotamento com crianças no veículo. (PRF, 2018).

Considerando também os dados de Janeiro de 2013 a Abril de 2018, ao menos 3.545 desses capotamentos havia crianças com idades de menos de um ano até quatorze anos nos veículos, sendo o maior registro em 2017, contando com um total de 816 crianças Figura 2.9.

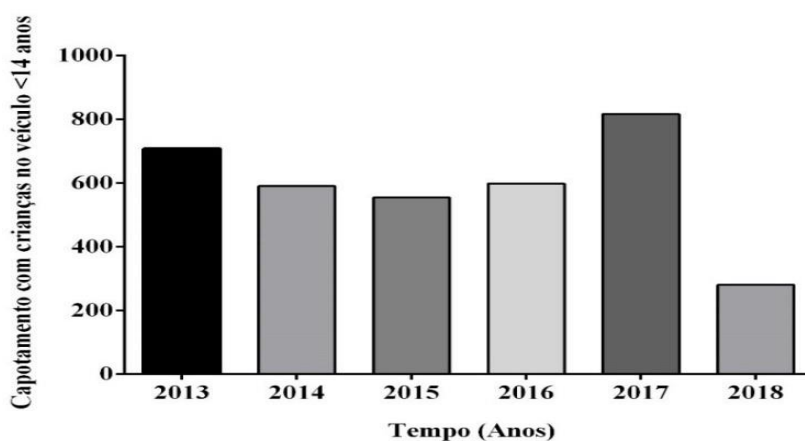


Figura 2.9: Capotamento com crianças no veículo. (PRF, 2018).

A Polícia Rodoviária Federal também registrou a idade das crianças que estavam no veículo, demonstrando que a maior notificação ocorreu com crianças de 10 a 14 anos, com destaque para 2013 que apresentou um total de 276 crianças Figura 2.10.

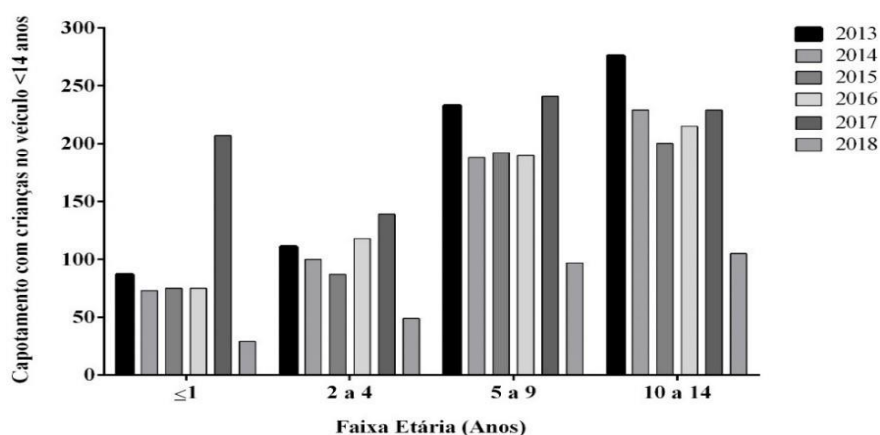


Figura 2.10: Dados de capotamento com idade das crianças no veículo. (PRF, 2018).

Contudo é notável que houve uma diminuição na quantidade de acidentes com crianças e esse fato é devido a conscientização dos condutores devido a fiscalizações mais rígidas do uso de equipamentos de segurança e também através de campanhas de conscientização pelos órgãos públicos (CRIANÇA SEGURA, 2018).

## 2.5 A Importância do Uso da Cadeirinha

Segundo Dr. Celso Arruda especialista em cadeirinha de crianças, “os bancos dos automóveis foram feitos para serem utilizados por adultos. Neles, na maioria das vezes, a criança não se sente confortável quando estão sentadas, mas sim livre para se deitar ou ficar de pé. Esta sensação de liberdade para se movimentar é a mesma que antigamente os adultos sentiam na condição de condutores ou passageiros de automóveis. Foi preciso muito esforço para educar os adultos a usarem cintos de segurança. Felizmente, hoje em dia, a quase totalidade das pessoas sabem da importância de utilizar este dispositivo de segurança. Foi preciso educar, fiscalizar e até multar para que os motoristas usassem e cobrassem dos passageiros o uso do cinto de segurança”(ARRUDA, 2013).

Hoje, a missão é a mesma. É necessário educar pais e crianças sobre o motivo do uso das cadeirinhas. A tarefa é mais difícil. Diferente dos cintos de segurança, que já vêm nos automóveis, a cadeirinha precisa ser adquirida, instalada, para depois ser corretamente utilizada. Se o simples ato de estender o braço, alcançar uma lingueta e encaixar em um fecho foi difícil quanto ao seu condicionamento, imaginem o uso das cadeirinhas. Será necessário educar e formar educadores para propagar a necessidade de proteger as crianças no transporte. Acompanhada da educação, a fiscalização, que foi e que continua sendo bastante rígida quanto ao uso do cinto de segurança, terá que proceder do mesmo modo em relação ao uso das cadeirinhas” (CRIANÇA SEGURA, 2013).

## 2.6 Dispositivos de Retenção para Crianças – DRC

Algumas definições se fazem necessárias para a compreensão dos dispositivos, a portaria 38/2007 do INMETRO conceitua por Dispositivos de Retenção para Criança (DRC) como um conjunto de elementos contendo uma combinação de tiras com fecho de travamento, dispositivo de ajuste, partes de fixação e em certos casos, dispositivos como: um berço portátil porta-bebê, uma cadeirinha auxiliar e/ou uma proteção antichoque, que devem ser fixados ao veículo. Estes dispositivos são projetados para reduzir o risco do usuário, em casos de colisão ou de desaceleração repentina do veículo, limitando o deslocamento do corpo da criança.

Segundo (GOUVEA, 2010) a função do dispositivo de retenção para transporte de crianças em veículos é apoiar o corpo da criança, em especial a cabeça, absorvendo a energia transmitida na colisão do veículo a níveis suportáveis pela estrutura e órgãos do corpo da cri-

ança, também tem como função evitar o contato agressivo da cabeça e tronco da criança com o interior do veículo.

Com seus corpos em desenvolvimento as crianças possuem uma fragilidade maior que uma pessoa adulta e para garantir sua segurança e proteção se faz necessário o uso dos DRC's. Todavia apesar do dispositivo está adequado ao passageiro é importante atentar à correta instalação, pois isso pode ter efeitos significativos em seu desempenho HAINOSKI, (2011).

A forma como os cintos de segurança são fixos ao ocupante e ao dispositivo resultam na sua eficiência em situações de acidente veicular, é necessário que os cintos estejam bem ajustados para que a desaceleração inicial da criança seja a menor possível. Manter a taxa de desaceleração do ocupante sob controle não reduz somente as forças que atuam sobre a superfície do corpo como também o efeito das colisões internas entre órgãos e a estrutura óssea. Por outro lado, superfícies rígidas ou cintos de segurança soltos ou frouxos intensificam a carga dissipada no corpo do ocupante (SOUZA, 2015).

Existe uma vasta diversidade de dispositivos de retenção e seus modelos variam entre tamanhos, pesos e idades dependendo de seus ocupantes, tais dispositivos também são divididos em classes e categorias conforme regulamentação ECE (*Economic Commission for Europe*), portaria 44/03, da Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa – UNECE.

Tais DRC's são divididos em duas classes segundo a ECE 44/03 de 2008:

*"A classe integral que é caso se a retenção da criança dentro do sistema de retenção for independente de quaisquer meios diretamente ligados ao veículo e a classe não-integral, se a retenção da criança dentro do sistema de retenção estiver dependente de quaisquer meios diretamente ligados ao veículo (ECE, 2009)"*

A (ABNT, 2009a) Norma Brasileira de Regulamentação - NBR 14400/1999 elaborada através da norma europeia ECE 44/03 classifica os dispositivos de retenção em quatro categorias:

- Categoria “universal”: usada na maioria das posições dos assentos (dos veículos), sendo compatível com as categorias de dispositivos de retenção para crianças;

- Categoria “restrita”: usada em determinadas posições de assento de certos modelos de veículos, como indicado pelo fabricante de dispositivo de retenção para crianças ou pelo fabricante do veículo;

- Categoria “semi-universal”: o uso dos DRC’s é permitido no banco dianteiro e traseiro, por meio das ancoragens inferiores dos cintos de segurança existentes no veículo e das ancoragens suplementares, desde que sejam instalados em conformidade com as instruções do fabricante, obedecendo às normas de segurança do trânsito;

- Categoria “veículo específico”: usada em determinados modelos de veículos, como dispositivo embutido de retenção para crianças.

É possível encontrar cadeirinhas que compartilhem grupos como cadeirinhas do grupo 0 e 0+ conforme Figura 2.11 e Figura 2.12 pois seus modelos muitas vezes conseguem atender aos dois grupos de crianças. Voltada para o vidro traseiro (de costas para o movimento), com inclinação sugerida de 45° ou conforme instruções do fabricante. As tiras da cadeirinha devem sair da fenda na altura do ombro da criança, ou abaixo, e serem ajustadas ao corpo com um dedo de folga entre o peito e as tiras (GAVA, 2013).



Figura 2.11: Grupo 0: para crianças de até 10 kg, altura aproximada 0,80 m, até 9 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018.





Figura 2.12: Grupo 0+: para crianças de até 13 kg, altura aproximada 0,72 m, até 12 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018.

Para o grupo 1 as cadeirinhas devem ser instaladas voltada para a frente, na posição vertical, no banco de trás e as tiras da cadeirinha devem sair da fenda na altura do ombro da criança, ou acima, e serem ajustadas ao corpo com um dedo de folga entre o peito e as tiras. O topo da orelha da criança não deve ultrapassar o encosto da cadeirinha demonstrado na Figura 2.13 (CRIANÇA SEGURA, 2018).



Figura 2.13: Grupo 1: crianças de 9 kg a 18 kg, altura aproximada 1,00 m, até 32 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018.

Assim como nos primeiros grupos, o grupo 2 presente na Figura 2.14 e grupo 3, Figura 2.15, possuem algumas características similares, dependendo do peso e altura da criança, os pais podem optar por utilizar tanto a cadeirinha com proteção de cabeça quanto utilizar o assento de elevação *booster*, pois ambas devem ser posicionadas no banco traseiro com cinto de três pontos.



Figura 2.14: Grupo 2: crianças de 15 kg a 25 kg, altura aproximada 1,15 m, até 60 meses de idade. Fonte: INTERNET, 2018.

O assento de segurança faz com que o cinto de três pontos do carro passe nos locais corretos do corpo da criança: pelo centro do ombro e peito e sobre os quadris demonstrado na Figura 2.15. O topo da orelha da criança não deve ultrapassar o topo do encosto do banco do veículo ou do assento.



Figura 2.15: Grupo 3: crianças de 22 kg a 36 kg, altura aproximada 1,30 m, até 90 meses de idade. (CRIANÇA SEGURA, 2018).

Salientando também que crianças com peso acima do indicado no grupo 3, até 10 anos de idade, devem ser transportadas no banco traseiro do carro, com cinto de três pontos Figura 2.16, a criança deve conseguir apoiar as costas inteiras no encosto e dobrar confortavelmente os joelhos na borda do banco. O cinto deve passar pelo centro do ombro e sobre os quadris. O topo da orelha da criança não deve ultrapassar o topo do encosto de cabeça do veículo.



Figura 2.16: Acima de 36 Kg e no mínimo 1,45m de altura (aproximadamente 10 anos de idade), (CRIANÇA SEGURA, 2018).

## 2.7 Regulamentação para ensaio NBR14400

A norma NBR 14400 salienta alguns ensaios aos quais os DRC's devem ser submetidos:

- 1 - Resistência mecânica;
- 2 - Corrosão/poeira;
- 3 - Capacidade de absorção de energia;
- 4 - Capacidade de travamento dos cintos de segurança, fechos e dispositivos de ajuste;
- 5 - Flamabilidade do material;
- 6 - Ensaio dinâmico que medem a eficiência do equipamento em simulações de impactos, capotamentos e demais situações de acidentes.

Segundo a norma NBR 14400 de 2009, os ensaios de capotamento devem atender a tais especificações:

*O boneco de ensaio deve ser colocado no dispositivo de retenção para crianças montado de acordo com esta Norma e de acordo com as instruções do fabricante, e com folga padrão da tira;*

*O dispositivo de retenção para crianças deve ser fixado no assento de ensaio ou no assento do veículo. O assento completo deve ser girado em torno de um eixo horizontal contido no plano longitudinal médio do mesmo assento por um ângulo de 360° a uma velocidade de  $3,49 \times 10^2$  rad/s a  $8,73 \times 10^2$  rad/s (equivalente a 2°/s a 5°/s);*

*Este ensaio deve ser repedido com rotação em sentido contrário após o boneco de ensaio ter sido colocado na posição inicial. Com o eixo de rotação no plano horizontal e a 90°*

*em relação àqueles dois ensaios, o procedimento dever ser repetido em ambos os sentidos de rotação.*

*Estes ensaios devem ser executados utilizando o menor e o maior boneco de ensaio ou grupos para o qual o dispositivo de retenção foi projetado. NBR 14400 de 1999.*

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 Dispositivo de Capotamento que Operará nos Parâmetros Normativos

Buscando simular de forma mais real um acidente veicular do tipo capotamento, a ideia foi projetar um simulador baseado no dispositivo de testes da Figura 3.1, que se encontrava no laboratório de biomecânica na faculdade de engenharia mecânica – FEM/UNICAMP, o qual foi construído seguindo as diretrizes da norma NBR 14.400 e (ECE, 2009).



Figura 3.1: Dispositivo de simulação de capotamento, (HAINOSKI, 2011).

A base em estrutura tubular assento é de aço carbono e está coberta com assento e encosto em espuma de poliuretano, ambos são fixos a uma base móvel que possui carga máxima suportada de 1.300 kg, redução 30:1 e raio livre de giro de 880mm. O conjunto (boneco, cadeirinha, cintos) realizam uma revolução completa (360 graus) em torno do eixo horizontal no plano longitudinal médio do mesmo assento a uma velocidade de  $3,49 \times 10^{-2}$  rad/s a  $8,73 \times 10^{-2}$  rad/s (equivalente a  $2^\circ/\text{s}$  a  $5^\circ/\text{s}$ ) respeitando a norma NBR14400.

Para haver movimento de rotação da base do assento foram instalados um motorreductor compacto com redução (1:100) acoplado a um motor elétrico trifásico (Figura 3.2a) de 0,33 CV e 1750 rpm e um inversor de frequência (Figura 3.2b) de 0,5 CV monofásico para controlar a velocidade. Somando as reduções do moto reductor e da base móvel, para entrada de 1750rpm do motor a 60 Hz, tem-se uma rotação de saída aproximadamente de 0,583 rpm nos DRC's e boneco. Comparado com a norma NBR 14.000 que propõem ensaios de capotamento a velo-

cidade de 2°/s a 5°/s (0,333 rpm a 0,833 rpm), esse valor de rotação de saída é intermediário estando normatizado.



(a) Moto redutor



(b) Inversor de frequência

Figura 3.2: (a) Motorreductor utilizado, (WEG, 2005) (b) Inversor de frequência, (WEG, 2015).

### 3.2 Construção do Simulador

Após avaliar o dispositivo de testes que opera nos padrões da norma foi possível idealizar um modelo de simulador de capotamento que segue os mesmos princípios físicos mas não nominais do dispositivo normatizado. Sua vantagem é poder simular de forma mais próxima a um capotamento real com condições mais seguras quando comparado aos valores de trabalho sugerido pela norma. Surge a ideia em realizar o rodízio de 360° da carcaça de um veículo fixa em um berço, sendo possível fazer uma avaliação visual do comportamento do boneco de testes e dos DRC's no momento do giro.

Com o intuito em desenvolver a pesquisa, o professor da FEM/UNICAMP Dr. Antônio Celso Fonseca de Arruda forneceu o veículo Lifan 320 Elite para servir aos moldes do projeto, logo após disponibilizá-lo foi feito o corte transversal do veículo para utilizar a parte traseira.

Após o corte foi idealizado o berço onde o veículo cortado seria posto, para que pudesse girar em torno do eixo horizontal contido no plano longitudinal médio por um ângulo de 360° para que pudessemos avaliar o comportamento dos DRC's e do boneco de teste Figura 3.3.

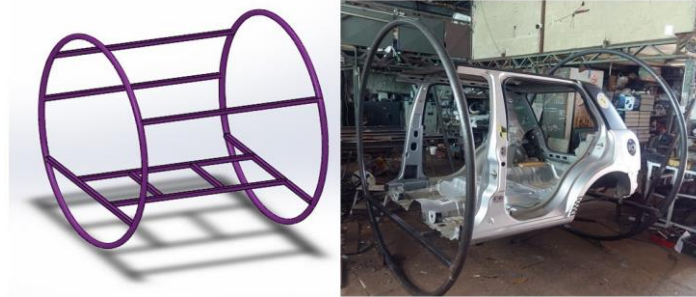


Figura 3.3: Modelo idealizado do berço feito em CAD e em processo de fabricação.

Um parâmetro importante para efetuar o giro do veículo é saber seu centro de massa, que é um ponto que se comporta como se toda a massa do corpo estivesse concentrada sobre ele. Porém é difícil e passível de erros muito altos apenas estimá-lo pois no projeto existem várias variáveis, todavia foi considerado que o objeto é homogêneo, tanto de frente quanto lateralmente, o que coincide o centro de massa com seu centro geométrico (centroide).

Olhando o veículo de frente, sua figura geométrica se assemelha a um trapézio, com isso foi feito o cálculo do centro de massa do trapézio Figura 3.4.

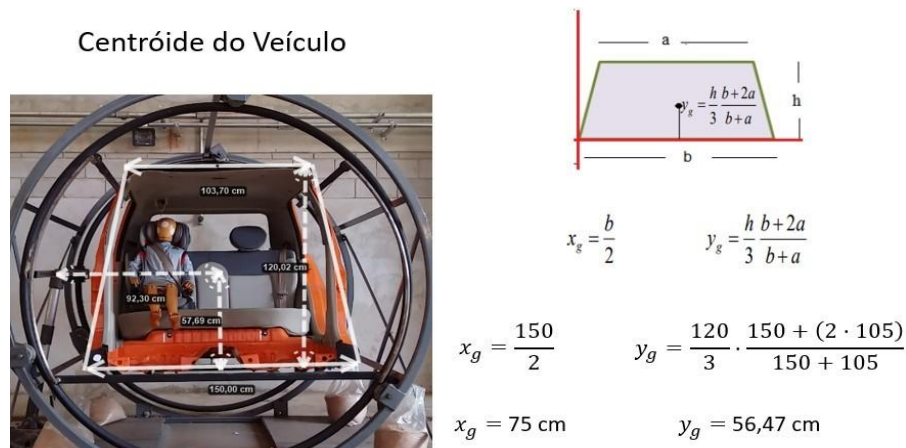


Figura 3.4: Estimativa do centro de massa do veículo – frontal.

Lateralmente, a estrutura do veículo também se assemelha a um trapézio, e foi feita a estimativa do seu centro de massa Figura 3.5.



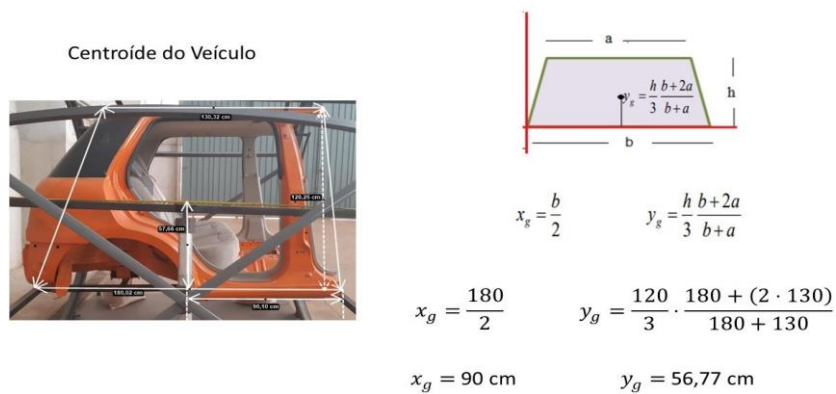


Figura 3.5: Estimativa do centro de massa do veículo – lateral.

O berço deve possuir dois aros e uma base que ligue os aros onde o veículo é fixado, para determinar o diâmetro dos aros, foi medida a distância diagonal do veículo no plano frontal que possui 190cm, com isso foi concluído que ambos os aros devem possuir 200cm de diâmetros. O centro de massa dos aros é o seu raio Figura 3.6.

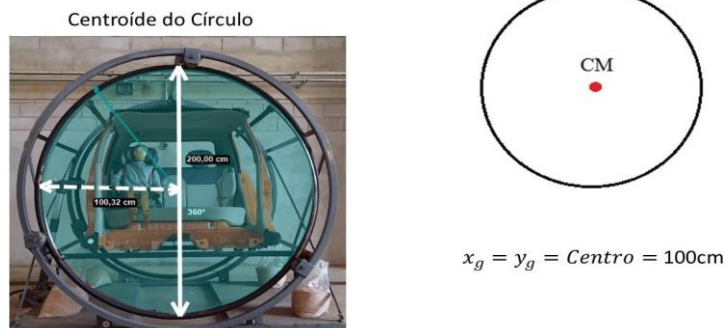


Figura 3.6: Centro de massa dos aros.

Olhando lateralmente, o berço se assimila a um retângulo, o que permite estimar o centro de massa da estrutura lateralmente Figura 3.7. Um detalhe é que a distância entre os aros foi igual ao comprimento do veículo, que é 180cm.



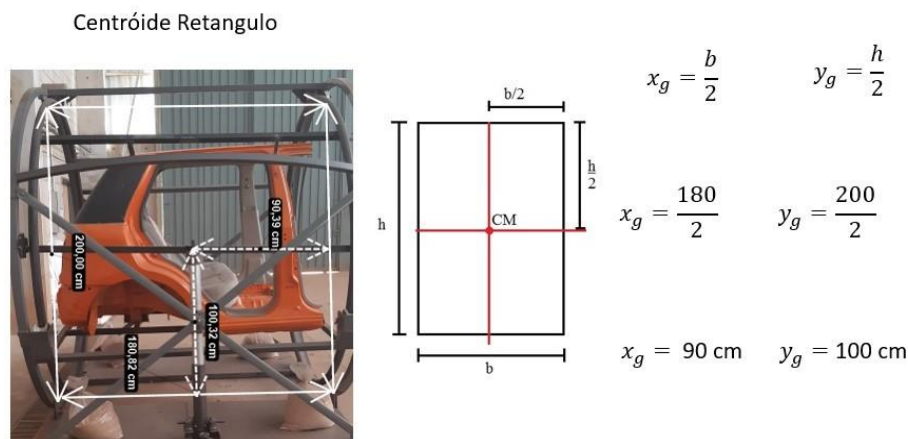


Figura 3.7: Centro de massa do retângulo da estrutura.

Após estimar os respectivos centros de massa, do veículo e do berço, buscou-se alinhá-los para que na hora do giro, pudessem girar com mais liberdade, reduzindo as vibrações. Na vista frontal, a base onde o veículo é fixada foi instalada a 50cm de altura com relação ao aro, alinhando o centro de massa do veículo com o do aro do berço, garantindo que o veículo gire sem tocar o piso Figura 3.8



Figura 3.8: Alinhamento do centro de massa veículo com o berço – frontal.

Na vista lateral, o alinhamento dos centros de massa se dão do mesmo modo, com a base onde o veículo é apoiado distante 50cm do aro, o centro de massa do berço fica próximo ao centro de massa do veículo Figura 3.9



Figura 3.9: Alinhamento do centro de massa veículo e berço – lateral.

Por ser economicamente mais viável, os aros do berço são feitos com tubos de aço de 50mm de diâmetro calandrados e toda a estrutura é unida por solda. Para possuir maior estabilidade e segurança foram soldadas barras de *metalon* medindo 180cm de comprimento na transversal aos aros.

Após a construção do berço foi realizado a construção da estrutura externa que é constituída de dois aros de aço de 225cm de diâmetro, calandrados e unidos por solda. Para garantir maior estabilidade foram soldados também barras de *metalon* que aumentam a segurança quando o dispositivo é acionado. Foram instaladas em cada aro três roldanas de *nylon* de 5 polegadas de diâmetro por 10 cm de comprimento, dispostas nos ângulos de 90°, 210° e 330° e em cada roldana há dois rolamentos fixados com um eixo de aço, garantindo o rodízio do berço Figura 3.10

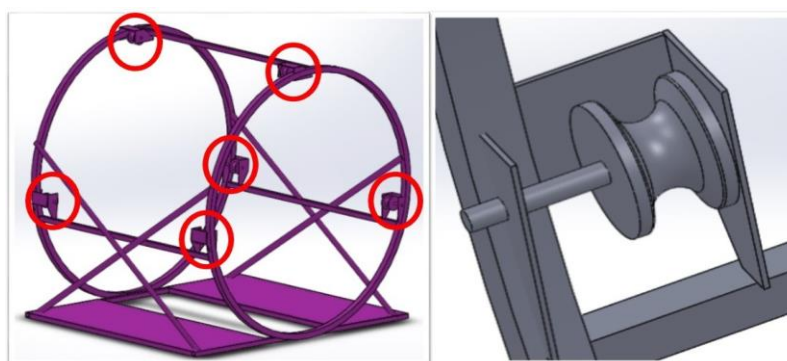


Figura 3.10: Estrutura externa do simulador de capotamento com roldanas.

Concluída a montagem da estrutura externa é feita então a montagem do simulador de

capotamento Figura 3.11, o berço com o veículo é posto dentro da estrutura externa, os aros internos do berço ficam em contato com as roldanas para assim por realizar o giro da carcaça veicular.

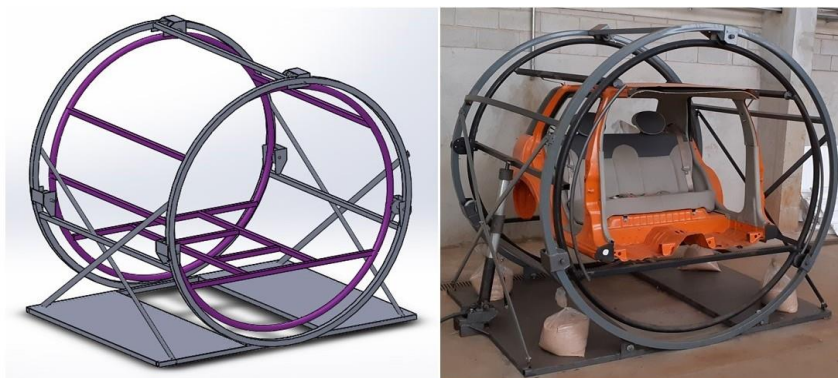


Figura 3.11: Simulador de capotamento em CAD e projeto final.

Para ocorrer o acionamento do rodízio do berço, o laboratório de biomecânica da FEM/U-NICAMP disponibilizou um sistema pistão pneumático já existente Figura 3.12, porém foram feitas adaptações para o projeto. O reservatório é abastecido através de um compressor de ar.



Figura 3.12: Reservatório do sistema de acionamento via pistão, (SACCONI, 2012).

A camisa do pistão é de alumínio possuindo 96cm de comprimento e 5,715cm de diâmetro interno (2,25 polegadas). A haste do pistão é de aço de 2,54cm (1 polegada) e possui 97cm de comprimento estando conectada ao êmbolo de altura de 7cm e diâmetro de 5,715cm (2,25

polegadas). A conexão entre o reservatório e o pistão é feita por uma mangueira de 4m de comprimento de 300 PSI e 1,905cm de diâmetro interno (0,75 polegadas). Para aumentar a segurança do acionamento pneumático, válvulas de segurança foram instaladas na saída do reservatório de ar e na entrada do pistão Figura 3.13.



Figura 3.13: Sistema Pneumático instalado.

O reservatório de ar possui capacidade de 14 bar porém a válvulas de segurança é acionada quando a pressão do reservatório chega a 10 bar, para isso utilizou-se a pressão de 9 bar para realizar o trabalho.

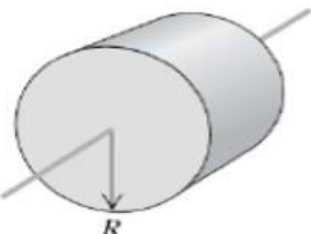
O cilindro de acionamento é instalado junto da base da estrutura externa, para isso ele foi fixado em uma camisa móvel levemente inclinada, com dois rolamentos e um amortecedor. A inclinação do pistão ocorre para que a haste do pistão tenha o máximo de alcance em contanto com a estrutura. Após o acionamento, quando a estrutura começa a girar e perde o contato com o pistão, o amortecedor realiza o afastamento do pistão para que este, não chegue a colidir com o berço em giro (Figura 3.14).



Figura 3.14: Estrutura para pistão com rolamento e amortecedor.

A haste do pistão está apoiada em um barra transversal que liga os dois aros do berço estando na linha do centro de massa da estrutura. O pistão possui êmbolo de 5,715cm (2.1/4 pol.) de diâmetro a pressão de 9 bar, resultando numa força de avanço de 230,87kgf, cerca de 2.264,06N.

Para haver movimento de rotação do sistema, com relação ao centro de raio do aro do berço, é necessário saber o momento de inércia do corpo a ser girado, após supor um alinhamento mais próximo possível os centros de massa do berço e do carro, a estrutura parecia um cilindro, o que permitiu estimar seu momento de inércia. Apesar de possuir lacunas na estrutura, foi proposto para este modelo, calcular o momento de inércia de um cilindro maciço Figura 3.15.

$$I = \frac{1}{2}MR^2$$


$$I = \frac{MR^2}{2}$$

$$I = \frac{200(kg) \times 1^2(m)}{2}$$

$$I = 100 \text{ kgm}^2$$

Figura 3.15: Momento de inércia considerando um cilindro maciço.

Um parâmetro importante para se dimensionar o sistema pneumático é o atrito nas roldanas, porém é muito difícil estimá-lo e passível de erros altos, contudo foi realizado um teste e o programa computacional *Kinovea* foi utilizado permitindo estimar o pico de velocidade e o tempo entre a velocidade máxima até o repouso do sistema Figura 3.16.

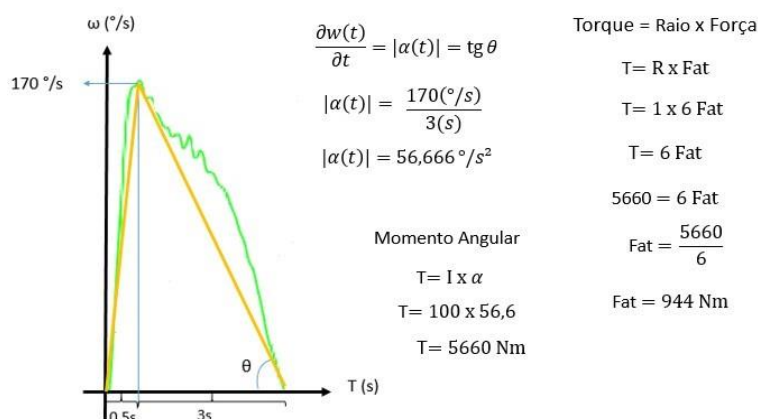


Figura 3.16: Estimativa do atrito em cada roldana no momento de giro.

### 3.3 Dispositivos de Retenção Analisados

Para este trabalho foi utilizado um DRC de origem nacional modelo *booster*, que segundo o fabricante atende a dois grupos da norma, Grupo II (assento de elevação com proteção de cabeça) e Grupo III (assento de elevação sem proteção de cabeça).

Grupo II – (Assento de elevação com proteção de cabeça): fabricado e projetado atendendo as exigências do INMETRO, é dimensionado para o transporte de crianças entre 15 kg a 25kg, altura aproximada de 1,15m e até 60 meses de idade, sua ancoragem é feita por cinto de três pontas e deve ser instalado voltado pra frente no banco de trás de veículo conforme recomendações do fabricante (Figura 3.17).





Figura 3.17: Assento de elevação para Grupo II. (Fonte: Internet, 2018).

Grupo III – (*Booster*-assento de elevação sem proteção de cabeça): também é fabricado e projetado atendendo as exigências do INMETRO, é dimensionado para crianças entre 22 kg e 36 kg, altura aproximada 1,30 m e até 90 meses de idade, sua ancoragem também é feita por cinto de três pontas e deve ser instalado voltado para frente do banco seguindo as recomendações do fabricante (Figura 3.18).



Figura 3.18: Assento de elevação para Grupo III. (Fonte: Internet, 2018).

### 3.4 Boneco de Testes

O boneco de testes utilizado possui altura de 1,15 m e peso de 22kg, com dimensões que simule uma criança entre 5 a 6 anos de idade segundo a norma europeia ECE 44/03, o que permite a utilização tanto de um DRC com proteção de cabeça quanto o sem proteção de cabeça.

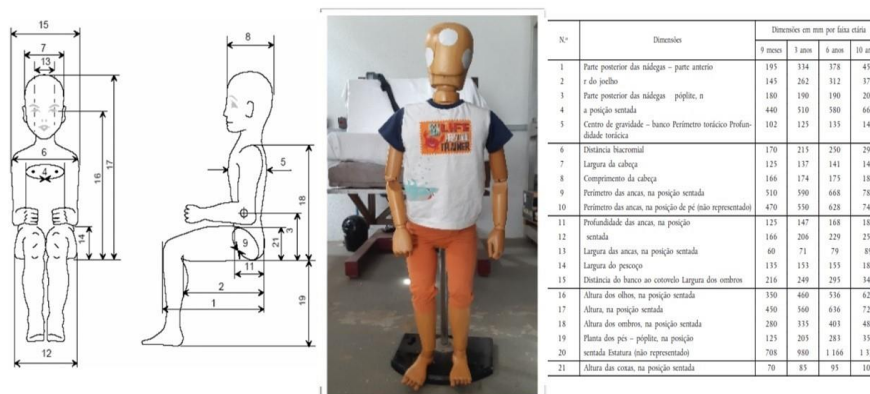


Figura 3.19: Boneco de testes (*dummi*) que simula uma criança segundo, (ECE, 2009).

### 3.5 Sistema de Aquisição de Dados

Para coleta de dados do tipo vídeo uma câmera de *smartphone* de 5MP (*megapixels*) e 30 fps (quadros por segundo) foi instalada distante quatro metros do simulador de capotamento, para registrar o giro do simulador, o comportamento dos DRC's e o comportamento do boneco de teste.

Para processamento dos dados coletados, foi utilizado o programa computacional de processamento de imagem chamado *Kinovea* o qual é utilizado para fazer análises biomecânicas. O programa está disponível gratuitamente na web sendo de fácil utilização com boa calibração, fornecendo dados bastante precisos de deslocamento, velocidade e aceleração.

A calibragem da câmera ocorre através das ferramentas de imagem do *Kinovea* após a coleta dos vídeos, adesivos sensoriais foram postos na cabeça do boneco e na carroceria para servir de referência na hora do deslocamento.

### 3.6 Procedimentos Experimentais

O simulador de capotamento foi instalado em uma área ampla e coberta cedida pela Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp.



Primeiramente para os ensaios serem realizados foram feitas avaliações no sistema de fixação dos DRC's para estarem devidamente instalados seguindo as orientações do manual dispostos pelos fabricantes.

O cinto utilizado foi de três pontas Figura 3.20 localizado no banco traseiro do simulador, a tira superior e inferior do cinto foram devidamente mensuradas no corpo do *dummie* para estarem na altura do ombro (não no pescoço) e no colo (não no estômago).



Figura 3.20: Fixação do cinto de três pontos.

Os DRC's foram instalados no lado direito do simulador, mesmo lado em que o acionamento ocorre.

Após a instalação dos DRC's, uma câmera frontal foi posicionada a quatro metros de distância do simulador, para captar imagens em vídeo do comportamento do boneco e da carcaça do veículo em cada instante em que o simulador efetua o giro do capotamento.

Ao todo foram realizados doze ensaios, seis para cada equipamento de capotamento, dos quais três utilizando o DRC do Grupo II e três do Grupo III. Em cada gravação de vídeo é possível visualizar o comportamento da cabeça do boneco, dos dispositivos de retenção e da carroceria do veículo.

Cada vídeo gravado passa por edição no programa *Kinovea*, para manter o padrão entre os vídeos é traçado uma reta na carcaça do veículo especificando sua distância real de 1601 milímetros. Essa reta Figura 3.21 conhecida como marco zero no centro da imagem, permitindo que o programa estime qualquer outro ponto quando solicitado



Figura 3.21: Adesivos sensoriais e linha de referência como marco zero.

Além dos pontos, o *Kinovea* pode estimar grandezas físicas como deslocamento, velocidade e aceleração (esta posta em módulo), tendo como referência o centro do quadro das imagens coletadas.

## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Resultados dos Testes de Capotamento

Foram realizados um total de 12 (doze) testes, sendo metade no simulador de capotamento, projetado e construído para este trabalho e a outra metade no dispositivo de capotamento normatizado. Testaram-se o DRC do Grupo II e do Grupo III, realizando 3 (três) amostras para cada condição. Os dados de tempo (ms), deslocamento (cm), velocidade angular ( $^{\circ}/s$ ) e aceleração ( $m/s^2$ ) foram estimados via programa computacional *Kinovea*.

### 4.2 Simulador de Capotamento

Testes iniciais foram realizados a fim de verificar se a estrutura mecânica e pneumática do projeto alcançaram as expectativas desejadas. Foi utilizado uma barra lateral para receber o impacto promovido pelo sistema pneumático Figura 4.1.

O deslocamento do êmbolo contra a barra lateral do simulador ocorre com uma força de avanço 230,87 Kgf ou seja, 2.264,06N



Figura 4.1: Sistema pneumático Cilindro-Pistão do simulador de capotamento.(Fonte: Autor).

## Teste do DRC Grupo II

As instalações dos DRC's foram feitas seguindo as recomendações do manual do fabricante. Foi utilizado o cinto de segurança de três pontos do banco traseiro do veículo, sendo dois pontos para a fixação subabdominal na base do dispositivo de retenção e o terceiro diagonal, passando pelo ponto localizado na parte superior do encosto de cabeça.



Figura 4.2: Teste 1: Trajetória da cabeça com a trajetória esperada.

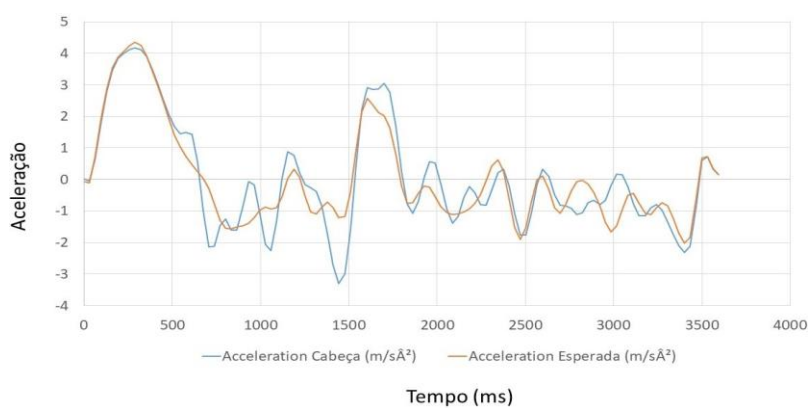


Figura 4.3: Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.4: Teste 2. Trajetória da cabeça com a trajetória esperada.

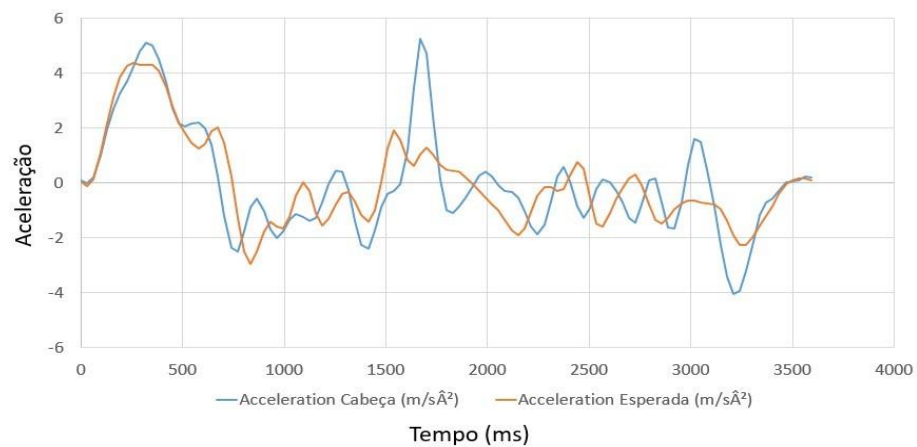


Figura 4.5: Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.6: Teste 3: Trajetória da cabeça com a trajetória esperada.

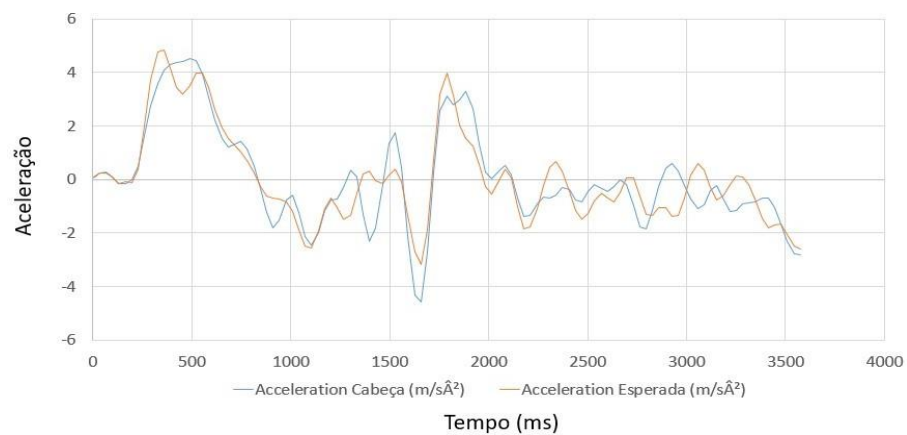


Figura 4.7: Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

Os resultados dos 3 (três) testes utilizando o DRC do Grupo II estão apresentados na Tabela 4.1, destaca-se a baixa média, menor que 10 cm, no deslocamento lateral da cabeça do boneco, algo já esperado, o que comprova sua fixação junto ao DRC com proteção.

Tal fato é resultante do protetor limitar o deslocamento lateral da cabeça do boneco. A velocidade angular da cabeça do boneco é bem próxima a velocidade do simulador. A Figura 4.8 apresentou velocidade maior no início do acionamento e com o tempo vai diminuindo até parar, tendo completado uma volta de  $360^\circ$  em 3,5 segundos.



Dados dos Testes	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Media	Variância	Desvio Padrão
Tempo (ms)	3500	3500	3500	3500	0	0
Deslocamento da Cabeça do Boneco (cm)	8,92	8,45	8,38	8,583	0,086	0,293
Velocidade Angular da Cabeça do Boneco ( $^{\circ} / s$ )	179,63	175,23	174,22	176,36	8,274	2,876
Velocidade Angular do Simulador ( $^{\circ} / s$ )	169,22	173,04	168,04	170,1	6,830	2,613
Aceleração Angular do Simulador ( $^{\circ} / s^2$ )	282,03	288,4	280,06	283,49	19,002	4,359

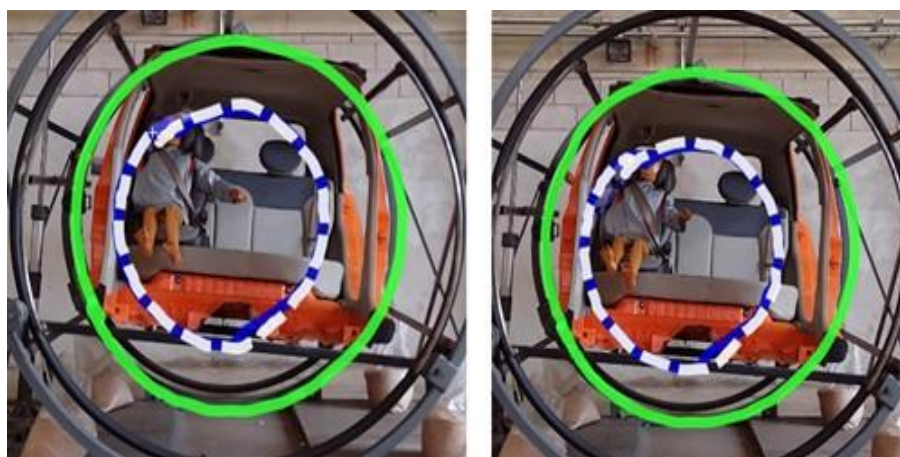
Tabela 4.1: Dados do *Kinovea*, DRC do Grupo II.

Figura 4.8: Trajetória estimada (linha tracejada branca), trajetória realizada (linha contínua azul) e trajetória realizada pelo simulador (linha contínua verde).

Foi observado que durante os testes, quando o simulador atinge no ângulo de  $215^{\circ}$  (Figura 4.9) o DRC se desloca lateralmente, chegando a colidir o protetor de cabeça com a coluna do veículo com baixa intensidade de impacto.. Tal resultado se deve ao fato do simulador apresentar uma velocidade elevada, exigindo do DRC que sejam testados em uma condição mais severa.



Figura 4.9: . Posição do DRC no momento do impacto com a coluna do simulador.

### Teste do DRC Grupo III

O DRC foi instalado conforme manual do fabricante também. Foi utilizado cinto de segurança de três pontos do banco traseiro do veículo, sendo dois pontos para a fixação subabdominal na base do DRC e o terceiro diagonal, passando pelo ombro, não apertando o pescoço do boneco.



Figura 4.10: Teste 1: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada.



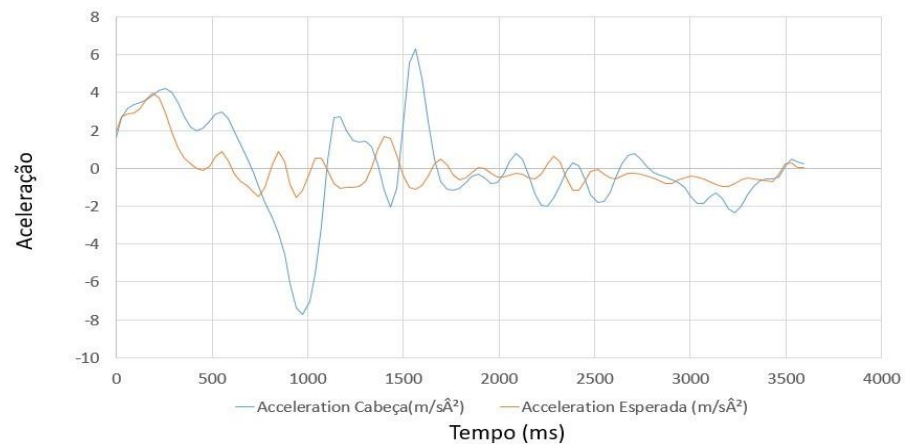


Figura 4.11: Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

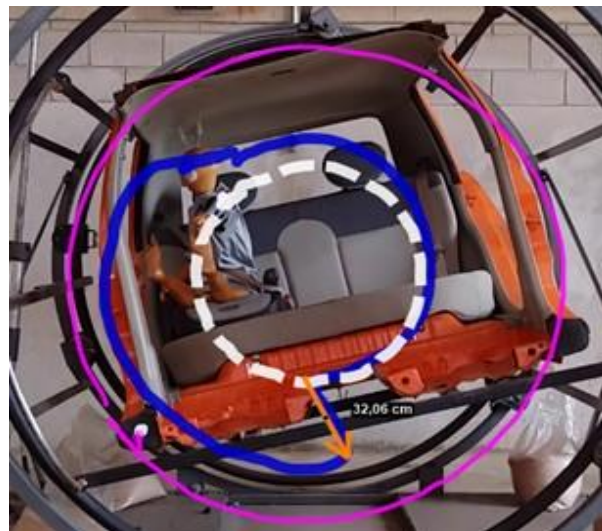


Figura 4.12: Teste 2: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada.

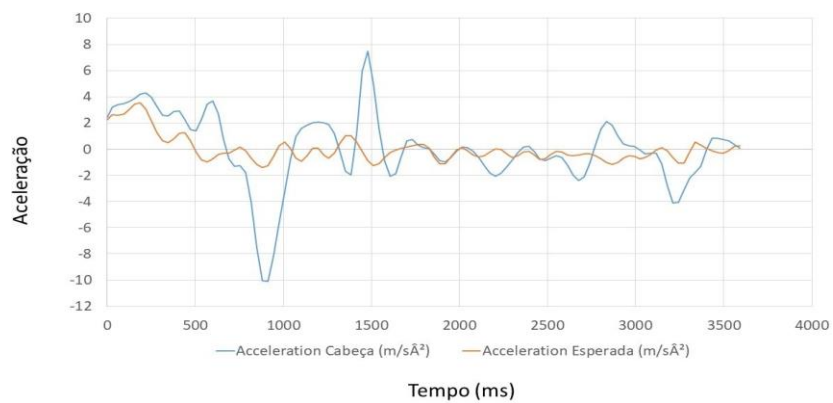


Figura 4.13: Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

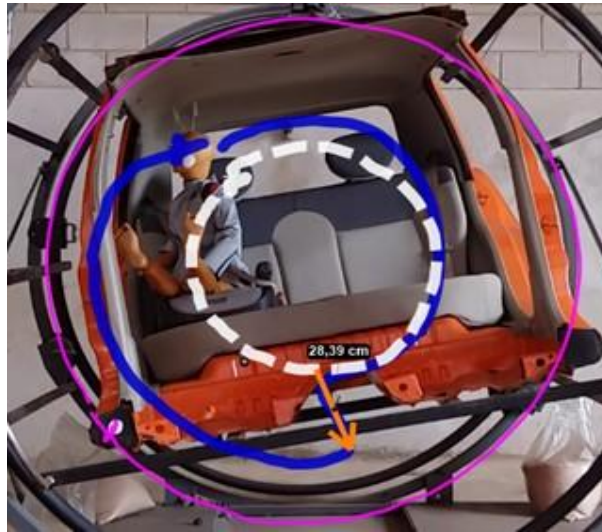


Figura 4.14: Teste 3: Deslocamento da cabeça / Trajetória esperada.

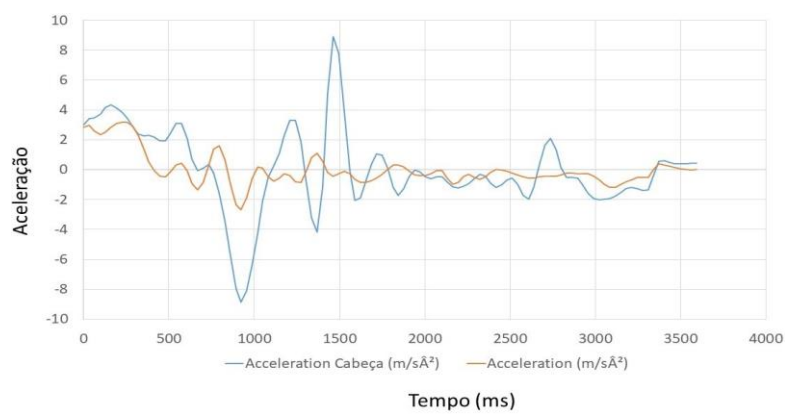


Figura 4.15: Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

Os resultados dos 3 (três) testes utilizando o DRC do Grupo III estão apresentados na Tabela 4.2. Destaca-se que a média no deslocamento lateral da cabeça do boneco Figura 4.16 foi substancialmente maior que a do teste com proteção de cabeça, sendo sete vezes maior, comprovando instabilidade em se manter com relação a sua posição inicial. A média da velocidade da cabeça do boneco foi maior quando comparada a velocidade na Tabela 1, resultado já previsto para o DRC sem proteção.

Dados dos Testes	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Media	Variância	Desvio Padrão
Tempo (ms)	3500	3500	3500	3500	0	0
Deslocamento da Cabeça do Boneco (cm)	36,42	4,4	38,95	38,59	4,057	2,014
Velocidade Angular da Cabeça do Boneco ( $^{\circ} / s$ )	216,56	227,97	233,61	226,04	75,45	8,686
Velocidade Angular do Simulador ( $^{\circ} / s$ )	167,6	166,29	167,16	167,01	0,444	0,666
Aceleração Angular do Simulador ( $^{\circ} / s^2$ )	279,3	277,15	278,6	278,35	1,202	1,096

Tabela 4.2: Dados do *Kinovea*, DRC do Grupo III.

Figura 4.16: Deslocamento lateral da cabeça do boneco.

Foi observado também que quando o simulador chega próximo ao ângulo de  $215^{\circ}$ , a cabeça do boneco apresenta um segundo deslocamento, chegando a colidir com a coluna lateral do veículo Figura 4.17. Essa colisão chega a aumentar substancialmente a velocidade da cabeça do boneco, sendo em uma criança provocaria graves lesões, uma delas seria o “efeito chicote”, que é a lesão no pescoço provocado por um movimento brusco da cabeça para frente, para atrás ou para os lados.



Figura 4.17: Momento de colisão da cabeça do boneco com a coluna do veículo.

A função do *booster* é corrigir a altura da criança, simulando que ela tenha o porte de um adulto para que o cinto passe na altura do ombro sem que fique apertando seu pescoço. Quando o DRC do Grupo III é utilizado sem o encosto com proteção de cabeça, a cabeça do boneco possui maior liberdade de movimento. Tal fato resulta em um deslocamento excessivo (linha azul) com relação a trajetória segura estimada (linha tracejada branca) Figura 4.18 resultando em maior carga de força exercida sobre a cabeça do boneco durante a simulação de capotamento.

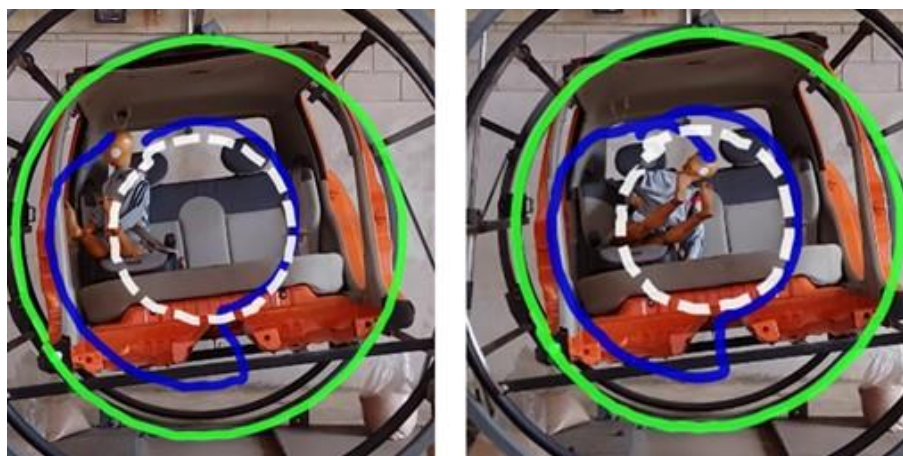


Figura 4.18: Deslocamento realizado pela cabeça do boneco (azul) em relação a trajetória segura estimada (branca).

### 4.3 Dispositivo de Capotamento

Testes iniciais foram realizados no dispositivo de capotamento para avaliar a instalação dos componentes elétricos e mecânicos Figura 4.19.



Figura 4.19: Motor elétrico com motoredutor do dispositivo de capotamento.

O dispositivo de capotamento é um equipamento normatizado, operando nos parâmetros de ensaios que a norma NBR 14400 recomenda. A velocidade angular média atingida é de 4,6°/s, atestando que o dispositivo está de acordo com os parâmetros normativos (2°/s à 5°/s).

### Teste do DRC Grupo II

As instalações dos DRC's foram feitas seguindo as recomendações do manual do fabricante. Foi utilizado o cinto de segurança de três pontos do dispositivo, similar ao que os veículos utilizam, sendo dois pontos para a fixação subabdominal na base do DRC e o terceiro diagonal, passando pelo ponto localizado na parte superior do encosto de proteção de cabeça.



Figura 4.20: Teste 1: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).



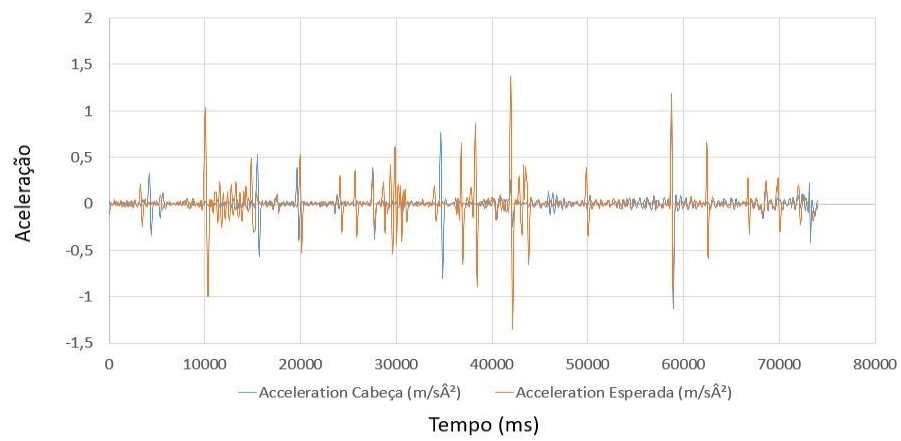


Figura 4.21: Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.22: Teste 2: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).

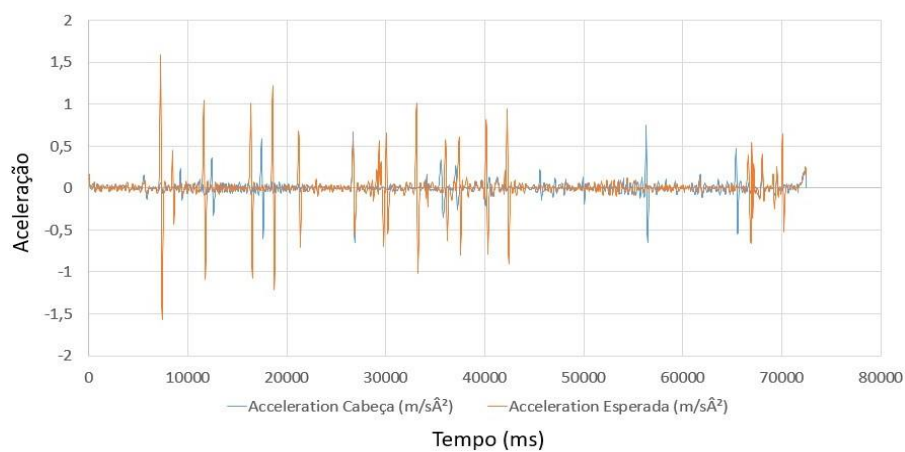


Figura 4.23: Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.24: Teste 3: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).

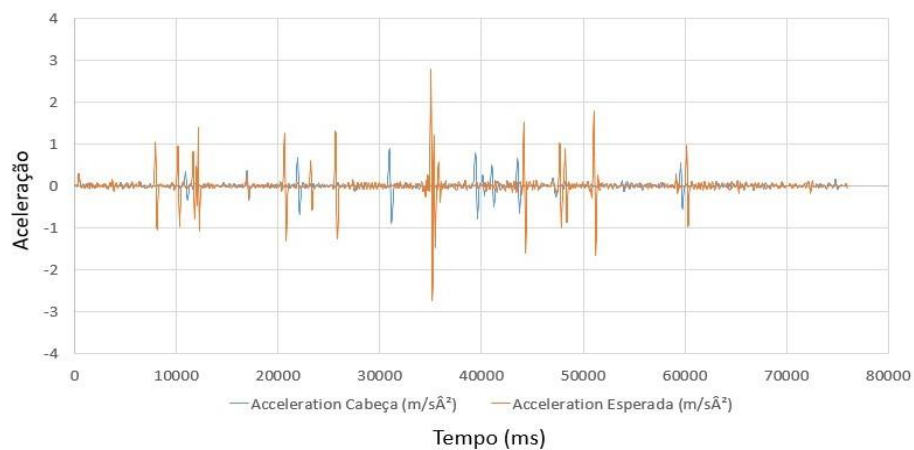


Figura 4.25: Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

Os resultados dos 3 (três) testes utilizando o DRC do Grupo II estão apresentados na Tabela 4.3, O tempo para realizar uma volta é de 75000 milissegundos, destaca-se a baixa média, menor que 5 cm, no deslocamento lateral da cabeça do boneco, algo já esperado, atestando a eficiência do DRC com proteção.

Dados dos Testes	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Media	Variância	Desvio Padrão
Tempo (ms)	75000	75000	75000	75000	0 0	0 0
Deslocamento da Cabeça do Boneco (cm)	3,17	4,24	2,19	3,2	1,051	1,025
Velocidade Angular da Cabeça do Boneco ( $^{\circ}$ / s)	4,38	4,44	4,49	4,436	0,003	0,055
Velocidade Angular do Simulador ( $^{\circ}$ / s)	4,29	4,73	4,54	4,52	0,048	0,220

Tabela 4.3: Dados do *Kinovea*, DRC do Grupo II.

Um dos critérios avaliativos da norma NBR 14400 é que, quando o banco de ensaio estiver de cabeça para baixo, a cabeça do boneco de ensaio não deve se deslocar em mais do que 300mm da sua posição original na direção vertical em relação ao banco de ensaio, e isso não ocorre nos testes Figura 4.26, o boneco se mantém na mesma posição e não apresenta nenhum deslocamento excessivo em nenhuma direção atestando sua eficiência.



Figura 4.26: Simulador de capotamento no momento de ponta cabeça.

A baixa média no deslocamento da cabeça do boneco é resultado do protetor limitar o deslocamento lateral. A velocidade de trabalho do dispositivo de capotamento ( $4,52^{\circ}/s$  média) é menor do que no simulador de capotamento, resultando um baixo esforço no DRC. A velocidade do dispositivo é controlada para que se mantenha o mais constante possível no decorrer do ensaio, resultando em uma aceleração nula. A velocidade angular da cabeça do boneco é bem próxima a velocidade do dispositivo de capotamento, sendo considerada velocidade constante, tendo a aceleração sido descartada também.



### Teste com DRC Grupo III

O DRC foi instalado conforme manual do fabricante também. Foi utilizado cinto de segurança de três pontos do banco traseiro do veículo, sendo dois pontos para a fixação subabdominal na base do DRC e o terceiro diagonal, passando pelo ombro, não apertando o pescoço do boneco.



Figura 4.27: Teste 1: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).

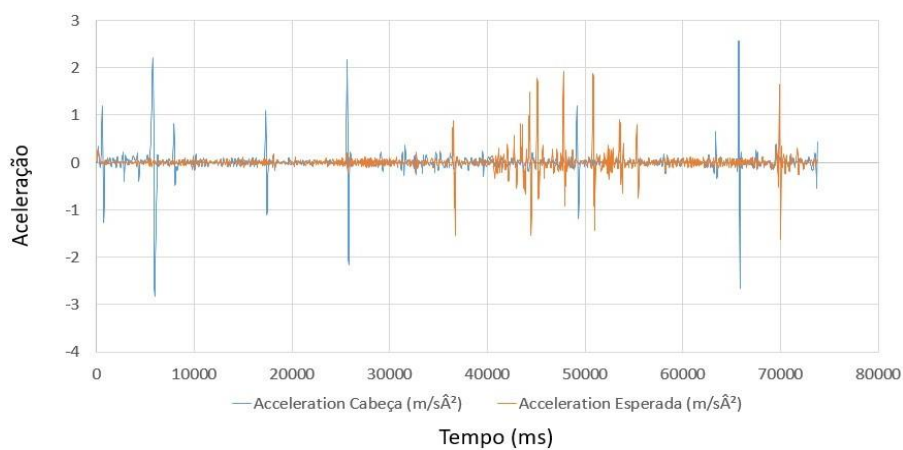


Figura 4.28: Teste 1: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.29: Teste 2: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).

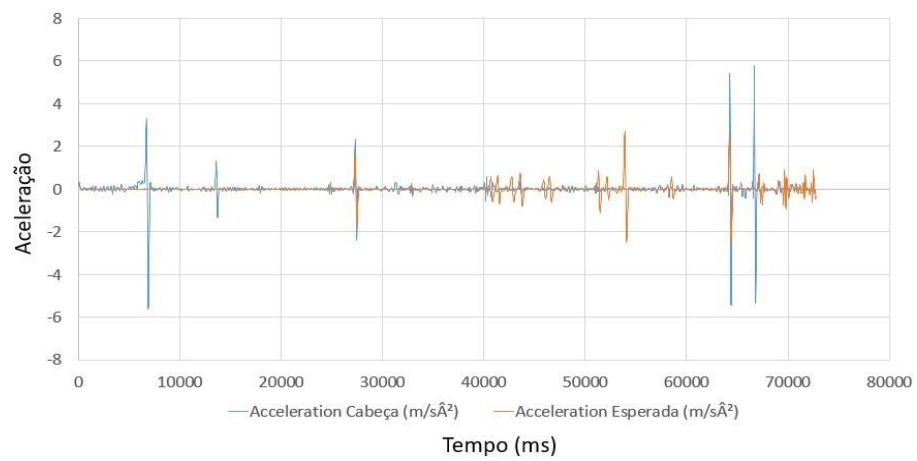


Figura 4.30: Teste 2: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.



Figura 4.31: Teste 3: Linha de deslocamento da cabeça (azul) e trajetória esperada (branca).

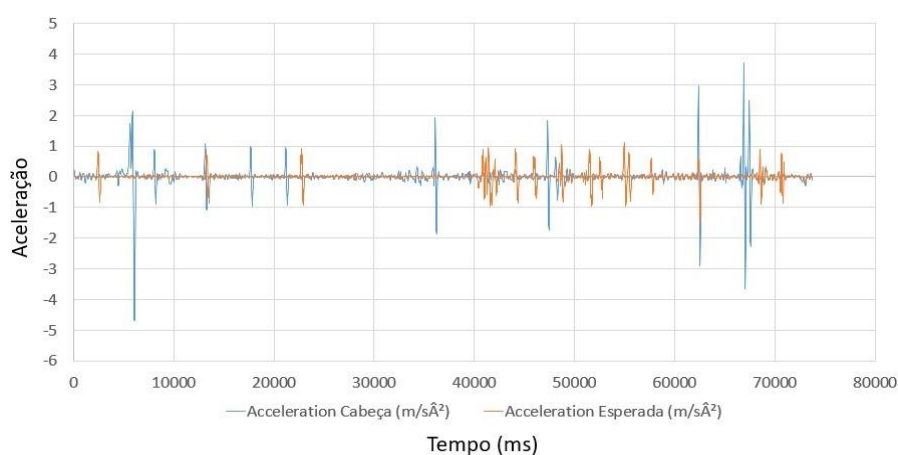


Figura 4.32: Teste 3: Aceleração da Cabeça em comparação a aceleração esperada.

Os resultados dos 3 (três) testes utilizando o DRC do Grupo III estão apresentados na Tabela 4.4. Destaca-se que a média no deslocamento lateral da cabeça do boneco Figura 4.33 foi substancialmente maior que a do teste na cadeirinha do Grupo II, sendo sete vezes maior, porém não chegaram a ultrapassar a distância de 300mm especificada na norma. As velocidades da cabeça do boneco apresentaram picos maiores quando comparadas as velocidades na Tabela 3, resultado já previsto para o DRC sem proteção.

Dados dos Testes	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Media	Variância	Desvio Padrão
Tempo (ms)	75000	75000	75000	75000	0 0	0 0
Deslocamento da Cabeça do Boneco (cm)	28,43	23,48	26,57	26,16	6,251	2,5003
Velocidade Angular da Cabeça do Boneco ( $^{\circ}$ / s)	42,74	55,33	48,33	58,466	39,792	6,308
Velocidade Angular do Simulador ( $^{\circ}$ / s)	4,84	4,4	4,7	4,646	0,050	0,224

Tabela 4.4: Dados do *Kinovea*, DRC do Grupo II.

Figura 4.33: Deslocamento lateral da cabeça do boneco.

#### 4.4 Análise Pós-Teste – Discussões dos Resultados

- Considerações com relação ao deslocamento lateral da cabeça do boneco

O DRC do Grupo II apresentou uma retenção significativamente superior quando comparado com do Grupo III, no deslocamento lateral da cabeça. No simulador de capotamento com o DRC do Grupo II, a cabeça do boneco obteve média de deslocamento lateral de 8,58 cm. Já no Grupo III houve um deslocamento lateral médio da cabeça de 38,59 cm, 4 (quatro) vezes maior, resultando ainda uma colisão da cabeça do boneco com a estrutura do veículo.

O “efeito chicote” é um trauma que geralmente ocorre durante um acidente de carro onde o pescoço é totalmente projetado para a frente (hiperextensão e hiperflexão) seguido de um rápido movimento no sentido oposto, acontece no simulador de capotamento pois a velocidade é maior quando comparada ao dispositivo de capotamento. A cabeça do boneco vai de encontro com a coluna interna do veículo Figura 4.34, na eminência do impacto a cabeça do boneco possui aceleração média de  $5,55\text{m/s}^2$  e a média da aceleração do simulador é de  $1,34\text{m/s}^2$ , somando as médias das acelerações, já que estão indo de encontro é de  $6,89\text{m/s}^2$ . A massa da cabeça/pescoço do boneco está especificado em norma, possui  $3,45\text{kg}$ .

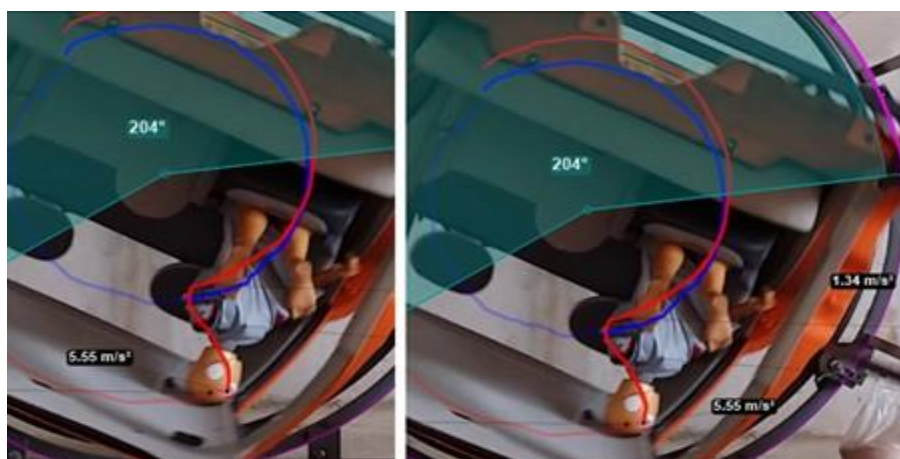


Figura 4.34: Acelerações da cabeça e do simulador no momento da colisão.

Para saber a intensidade da força de impacto em força (G ) que a cabeça da criança sofre, utilizamos as Leis de Newton.

$$F = m * a \quad (4.1)$$

$$F = 3,54\text{kg} \times 6,89\text{m/s}^2$$

$$F = 24,39\text{N}$$

A força (G) é a força da gravidade da terra, que possui  $9,81\text{N}$  aplicada em  $1\text{kg}$ . Convertendo a unidade de Newton para força (G) saberemos de quanto foi essa força de impacto:

$$1G - 9,81N$$

$$X$$

$$G - 24,39N$$

$$F_{Impacto} = 2,4G$$

Ou seja, só a região da cabeça do boneco sofre um impacto de 2,4 vezes maior que a gravidade exerce sobre o corpo deixando-o suscetível a risco de lesões graves.

No dispositivo de capotamento ambos os DRC's obtiveram resultados positivos, com a cadeirinha Grupo II a cabeça teve um deslocamento lateral média do 3,2cm. O *booster* do Grupo III, a cabeça do boneco obteve um deslocamento de 26,16 cm, um deslocamento 8 (oito) vezes maior, porém sem colisão. Segundo a norma de cinto de segurança NBR 7337-2014, o tombamento do boneco era algo esperando, pois no sentido do giro, o cinto possui um ângulo de liberdade, resultando em seu deslocamento lateral para dentro do veículo. Caso o sentido do giro fosse ao contrário, o cinto de segurança estaria em contato com o pescoço do boneco, limitando seu deslocamento, reduzindo a probabilidade do boneco ser ejetado Figura 4.35.

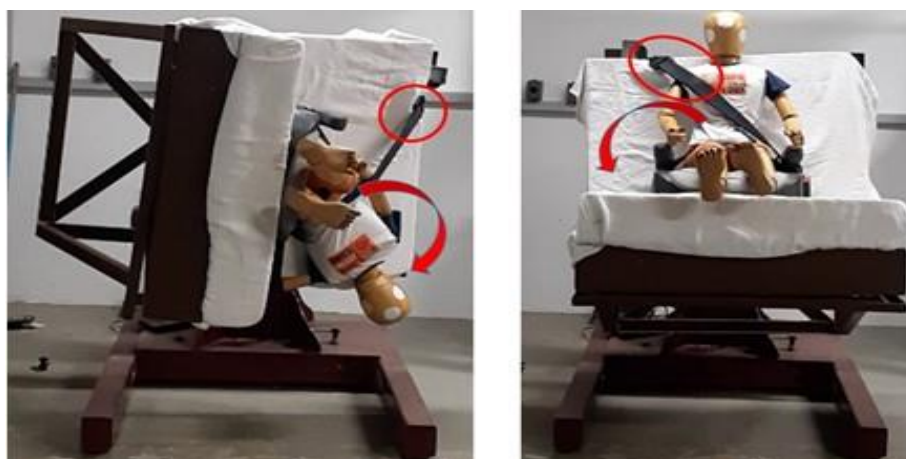


Figura 4.35: Influência do cinto de segurança no sentido do giro.

- Considerações com relação a velocidade dos equipamentos de testes

O simulador de capotamento proposto apresentou picos de velocidade angular substancialmente maior quando comparado com o dispositivo de capotamento que obedece à norma NBR 14400. No simulador, o pico de velocidade média atingida foi de 170,1°/s, enquanto no

dispositivo foi de  $4,64^{\circ}/s$ , ou seja, o simulador chega a ser 36,5 vezes mais rápido que o dispositivo.

O tempo para realizar uma volta completa foi consideravelmente menor no simulador (3500ms) do que no dispositivo (75000ms).

A projeção do sistema pneumático para tranco inicial, da média do pico de velocidade angular e o tempo reduzido foram o diferencial para este trabalho. Os testes realizados nos DRC's validaram a eficácia do simulador de capotamento.

## 5 Conclusão

O sistema pneumático projetado no simulador de capotamento garantiu uma velocidade maior quando comparado à velocidade do dispositivo normatizado. Tendo como características um giro de 360° em 3,5 segundos com velocidade média de 170°/s.

A validação do simulador de capotamento foi constituída por testes em dois tipos de cadeirinhas normatizadas, uma do Grupo II e a outra do Grupo III, ambas com o mesmo boneco não normatizado porém que atende às características antropométricas dos dois grupos.

Foram feitos três testes para cada tipo de cadeirinha, utilizando os mesmos parâmetros de velocidade, no teste da cadeirinha do Grupo II que possui o encosto com proteção de cabeça, a média de deslocamento da cabeça do boneco foi menor que 10cm em relação a sua origem, garantindo a segurança da criança.

Em contrapartida, os testes para o Grupo III que não possuem encosto com proteção, apresentaram um deslocamento lateral da cabeça substancialmente maior, com distância média de 38,59cm, resultando na colisão da cabeça do boneco com a estrutura interna do veículo a uma força calculada por análise de imagens de 2,4G. Tal colisão seria suficiente para causar lesões graves em uma criança.

Constatou-se que todas as condições atribuídas ao simulador afim de obter testes mais próximos do real, como acionamento pneumático para tranco inicial, fixação da estrutura de um veículo dentro do simulador e projeção de velocidade, culminaram em condições mais severas, visto que o DRC do Grupo III, aprovado em norma, não apresentou resultados satisfatórios de segurança durante os testes.



## Referências

ABNT. (2009a). *Associação Brasileira de Normas Técnicas. Veículos Rodoviários - Dispositivos de Retenção para Crianças - Requisitos de Segurança: ABNT NBR 14400*. Rio de Janeiro, 49p (No. 49).

AMBEV. (2017). *RETRATO DA SEGURANÇA VIÁRIA 2017*. 2017. eletrônico. Retrieved from <[https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2017/09/Retrato-da-Seguran%C3%A7a-Vi%C3%A1ria\\_Ambev\\_2017.pdf](https://www.ambev.com.br/conteudo/uploads/2017/09/Retrato-da-Seguran%C3%A7a-Vi%C3%A1ria_Ambev_2017.pdf)>

ARRUDA, A. C. F. (2013, Janeiro). *Child Safety&Project: Child Retention Devices*. 23 Jan. 2017. Eletrônico. Retrieved from <<https://criancasegura.org.br/?s=importancia+de+usar+cinto+de+seguran%C3%A7a>>

COTTI, L. R. (2010). *Sobrevivência no trânsito, volume 1. projeto sobrevivência no trânsito*, 1 edição.

CRIANÇA SEGURA. (2013). *Quando Troca o Bebê Conforto Pela Cadeirinha*. Agu. 2013. eletrônico.

CRIANÇA SEGURA. (2018, Julho). *Quando Troca o Bebê Conforto Pela Cadeirinha*. Agu. 2017. eletrônico. Retrieved from <[https://criancasegura.org.br/wp-content/uploads/2017/07/boletim\\_julho\\_2017.jpg](https://criancasegura.org.br/wp-content/uploads/2017/07/boletim_julho_2017.jpg)>

DATASUS. (2017, Agust). *Single Health System Database - Banco de Dados do Sistema Único de Saúde*. 20 Agu. 2017. eletrônico. Retrieved from <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/niuf.def>>

DETRANPR. (2018). *Educação para o trânsito. Departamento de Trânsito do Paraná*.

DISCUSSÃO, E. (2012). *Explosão de motos e mortes*. Revista de audiências públicas do

Senado Federal - Paper Ano 3 – Nº 13.

ECE. (2009). Europa, comissão econômica. ece r44. 03: Disposições uniformes relativas à homologação de dispositivos de retenção para crianças em veículos a motor. *Nações Unidas*.

GAVA. (2013). Proteste - guia criança segura no carro. *Criança Segura Brasil*.

GOUVEA, M. F. (2010). *Análise das Cargas na Região Pública de Criança de Três Anos Gerada por Cinto de Segurança Cinco Pontas em Colisões Veiculares*.

HAINOSKI, S. C. (2011). *Projeto e Construção de Equipamentos para Ensaios de Dispositivos de Retenção para Crianças* (Unpublished master's thesis). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

IKEDA, T. (2012). Segurança veicular: Dispositivos de segurança passiva—descrição e recomendações. 2012. 74 f. *Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Automotiva)—Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul*.

ISO 6813. (1981). *Road Vehicles. Collision classification. Terminology* (No. 24).

MADUREIRA, O. M. (2000). . Curso Dinâmica da Segurança Veicular.

NASS. (2008). Sistema nacional de amostragem automotiva - nass. *sistema de dados de resistência a falhas, 2000*.

PARENTEAU, D. e. S. M. e. G. M. e. D. J. e. N. D. e. B. J., CS e Viano. (2004). *Relevância em campo de uma suíte de testes de rolo para resultados e feridas do mundo real. em: Respostas ocupacionais e de veículos em rollovers* (Tech. Rep.).

PORTAL DO TRÂNSITO. (2018). *Portal do trânsito*. Tecnodata Educacional - Educação para uma Vida mais Segura ,23 Jan. 2017. Eletrônico. Retrieved from <<https://portaldotransito.com.br/topicos/estatisticas/>>

PRF. (2018). *Polícia Rodoviária Federal, Boletim de Acidente de Trânsito - BAT*. 2018. eletro-

nico. Retrieved from <<https://novobat.prpf.gov.br/novobat/consultar>>

SACCONI, H. (2012). *Pesquisa da Unicamp mostra o que acontece em acidentes com criança*. 2012. eletrônico. Retrieved from <[http://www.youtube.com/watch?v=FYXEx\\_oseJY](http://www.youtube.com/watch?v=FYXEx_oseJY)>

SIM. (2018). *Sistema de Informações de Mortalidade*. 23 Jan. 2017. Eletrônico. Retrieved from <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=060701>>

Souza, V. C. (2015). *Projeto e construção de simulador de ensaios dinâmicos para dispositivos de retenção infantil* (Unpublished master's thesis). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

TAVARES, A. F. P. (2015). *Projeto, construção e teste de protótipo de maca para transporte de crianças de um até dez anos de idades* (Unpublished master's thesis). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

TIVELLI, E., et al. (2012). Absorção de impacto por latas de alumínio.

VALDÉS, E. G., SILVA, R. C., e OLIVEIRA, A. B. (2016). Um estudo da dinâmica do capotamento veicular. *CONEM 2016, Fortaleza -CE*.

VARELA, M. C. G., Vasconcelos, J. d. M. B., da Costa Santos, I. B., Pedrosa, I. L., e de Sousa, A. T. O. (2009). Processo de cuidar da criança queimada: vivência de familiares. *Revista Brasileira de Enfermagem*, 62(5), 723–728.

VIEIRA, L. J. E. d. S., Carneiro, R. C. M. M., Frota, M. A., Gomes, A. L. A., e Ximenes, L. B. (2009). Ações e possibilidades de prevenção de acidentes com crianças em creches de fortaleza, ceará. *Ciência & Saúde Coletiva*, 14, 1687–1697.

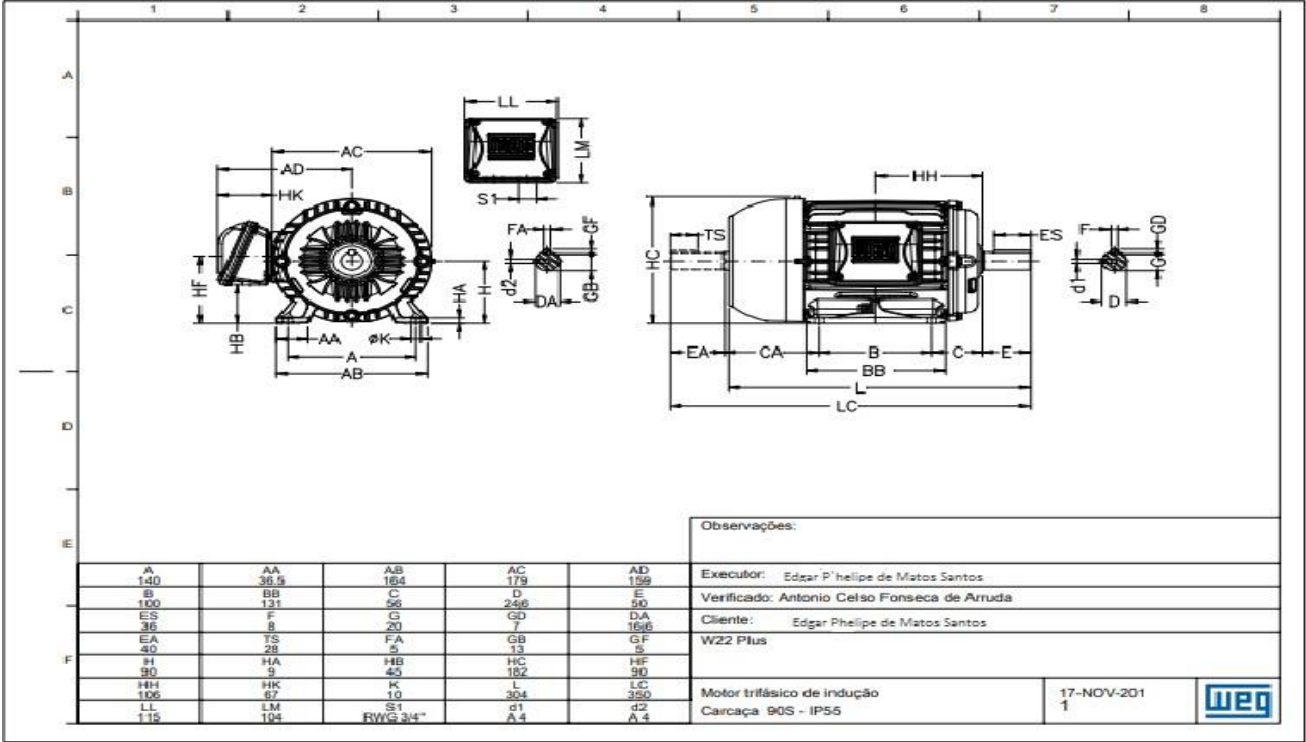
WEG. (2005). Motores elétricos assíncronos de alta tensão. *Jaraguá do Sul*.

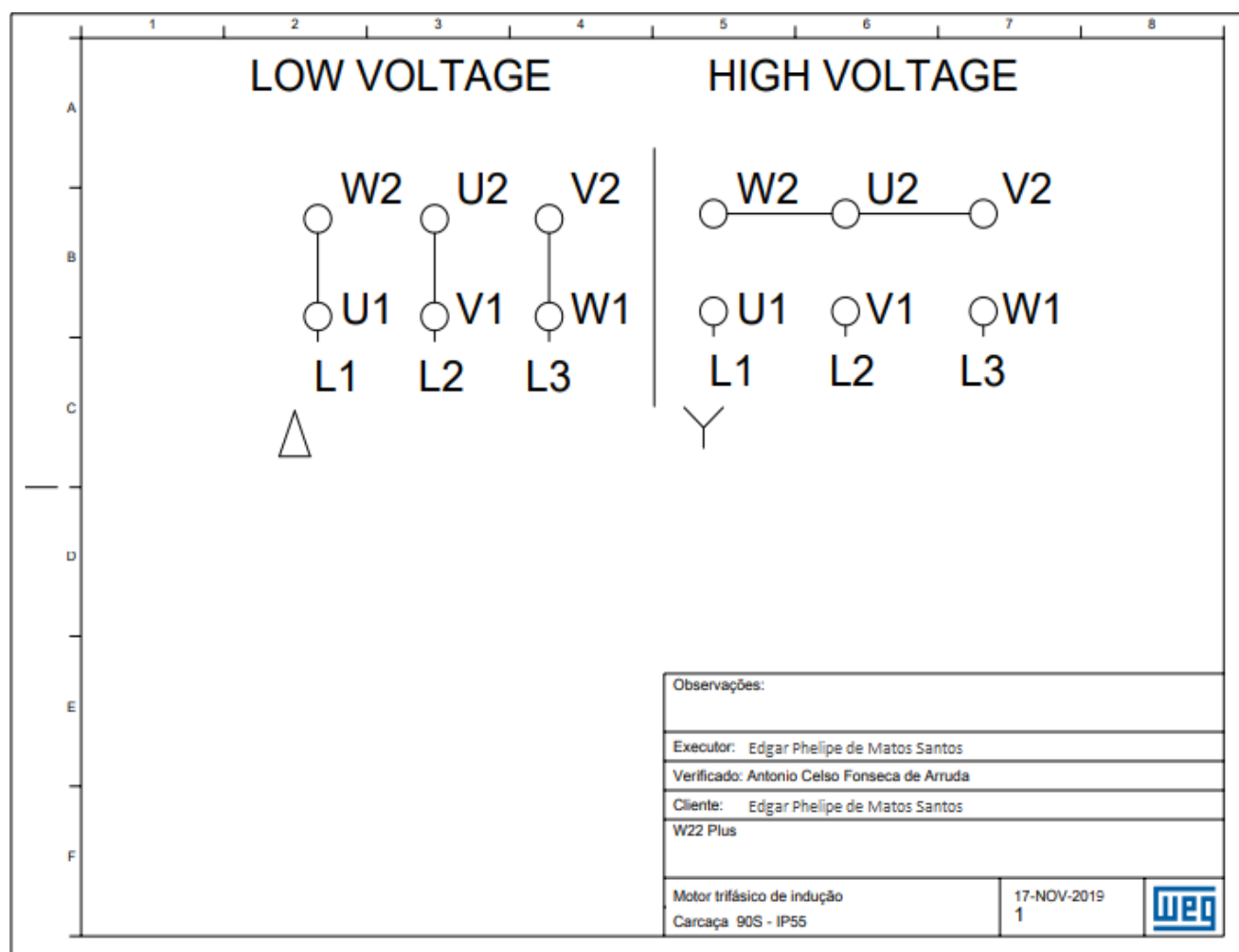
WEG. (2015). Manual do inversor de frequência. *Série:CFW-10; Software: Versão2.XX; Idioma: Português Documento: 0899.5860 / 11..*

WHO. (2018). *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization.

ANEXO A – Arquivos de Especificação dos Materiais Utilizados

A.1 Especificações do motor de indução





A.2 Inversor de Frequência

